



Universidad  
Carlos III de Madrid  
[www.uc3m.es](http://www.uc3m.es)

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

# **BATERÍAS CONECTADAS A LA RED. ARBITRAJE.**

Autor: Adrián Carrasco Revilla

Tutor: Santiago Arnaltes Gómez

Director: Manuel García Plaza

Leganés, Junio de 2016



# RESUMEN

En los últimos años, el uso de las baterías en el sistema eléctrico ha aumentado considerablemente. Estas baterías se utilizan por ejemplo para acumular la energía producida por centrales renovables, servir de fuente de energía a los coches eléctricos, etc.

Este proyecto se centra en la conexión de diferentes baterías a la red eléctrica y la compra-venta de energía a través del arbitraje para determinar su impacto y beneficios. Un aspecto fundamental de este trabajo será el desgaste que sufren las baterías al realizar la carga y descarga de energía, conocido como Estado de Salud (State of Health-SOH) y el coste de depreciación asociado a éste.

Este análisis se apoyará en las especificaciones de las baterías proporcionadas por los fabricantes para identificar cómo se produce su desgaste. Se generará un método cuyo resultado sea el coste derivado de la pérdida del SOH.

Una vez estudiado el impacto que tienen los distintos ciclos de carga y descarga de la batería conectada a la red, se analizarán los costes y ganancias que se producen al realizar la compra-venta de energía en arbitraje. El programa dará como resultado la opción con mayor beneficio, tanto en tipo de batería como en régimen de carga.

# ABSTRACT

In the last years, the use of electric batteries has increased considerably. These batteries are used, for instance, to store the energy generated from sustainable sources, to power electric vehicles or to be integrated in Smart Grids.

This project focuses on the grid connection of batteries in order to buy and sell energy via arbitrage, trying to obtain as highest benefit as possible. A key aspect of this document will be the damage the batteries suffer under charge and discharge cycles, known as State of Health (SOH) and the cost associated to this damage.

The analysis will be based on the battery specifications provided by the manufacturers that will allow identifying the parameters that cause the damage. A method will be generated whose result will be the cost of SOH difference.

Once the impact of the different charge and discharge cycles has been studied, the costs and earnings produced in arbitrage will be analyzed. With these results, a program will be built, that allows the visualization of the charge status that reaches a greater benefit.

# INDICE GENERAL

<b>BATERÍAS CONECTADAS A LA RED. ARBITRAJE.</b>	<b>0</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>3</b>
<b>INDICE GENERAL</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>9</b>
1. <b>Introducción</b>	<b>9</b>
2. <b>Objetivos</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1: ESTADO DE SALUD. COSTE.</b>	<b>11</b>
1. <b>Descripción del Estado de Salud (SOH) de una batería.</b>	<b>11</b>
2. <b>Algoritmo del estado de salud: coste.</b>	<b>13</b>
2.1. <b>Construcción del Algoritmo</b>	<b>13</b>
Profundidad de Descarga	14
Temperatura de la batería	18
Corriente de carga y descarga	22
3. <b>Programa Excel: “Baterías”. Manual de uso.</b>	<b>25</b>
3.1.    Interfaz y Algoritmo	25
3.2.    Manual de uso	27
<b>CAPÍTULO 2: BATERÍAS CONECTADAS A LA RED. ARBITRAJE</b>	<b>32</b>
1. <b>Arbitraje. Descripción.</b>	<b>32</b>
2. <b>Algoritmo de arbitraje.</b>	<b>34</b>
2.1.    Simulación de precios y demanda	35
2.2.    Implementación en Baterías	37
2.3.    Optimización de corriente	38
2.4.    Día completo	39
3. <b>“Baterías conectadas a la red. Arbitraje”. Manual de uso.</b>	<b>40</b>
3.1.    Interfaz	40
3.2.    Manual de uso	42
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>47</b>



# ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 : Gráfica de batería Panasonic [11].....	12
Fig. 2: Batería de la compañía Visión [12].....	13
Fig. 3: Batería Saft[16] .....	15
Fig. 4: Batería Visión[17] .....	15
Fig. 5: Saft (DOD-Ciclos).....	16
Fig. 6: First Power (Capacidad-Ciclos)[20].....	16
Fig. 7: FP (Ciclos-DOD).....	17
Fig. 8: Panasonic (Ciclos-DOD).....	17
Fig. 9: Vision .....	17
Fig. 10: Temperatura Visión[17] .....	19
Fig. 11: Temperatura Saft[16].....	19
Fig. 12: Vision (Vida-Temp (°C)).....	19
Fig. 13: Saft (Vida-Temperatura) .....	20
Fig. 14: Panasonic/FP Capacidad-Temperatura.....	21
Fig. 15: First Power Temperatura-Vida[20] .....	21
Fig. 16: First Power Temperatura .....	22
Fig. 17: First Power Capacidad-Corriente .....	23
Fig. 18 Vision Capacidad-Corriente .....	24
Fig. 19 Panasonic Capacidad-Corriente.....	24
Fig. 20: Vision DOD Modificado [17] .....	26
Fig. 21 Visualización “Baterías”.....	27
Fig. 22: Mensaje Atención 'Baterías' .....	28
Fig. 23: Mensaje Atención Reset.....	28
Fig. 24: Hoja FP "Baterías" .....	29
Fig. 25: Ejemplo práctico enunciado .....	29
Fig. 26: Solución Ejemplo .....	30
Fig. 27: Estadísticas de PVPC .....	35
Fig. 28: Demanda (pu) .....	36
Fig. 29: Ejemplo Tarifa 2.0A.....	37
Fig. 30: Ejemplo Tarifa 2.0DHA .....	37
Fig. 31: Algoritmo corriente .....	39
Fig. 32: Hoja de Excel con Anotaciones.....	41
Fig. 33: FP Excel con anotaciones.....	42

Fig. 34 Página Red Eléctrica [31].....	43
Fig. 35: Excel PVPC.....	43
Fig. 36: Gráfica SOC Máximo beneficio.....	44



# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen Baterías .....	18
Tabla 2: Panasonic Temperatura[8] .....	20
Tabla 3 : First Power Temperatura[15].....	20
Tabla 4: Resumen relación SOH-Temp .....	22
Tabla 5: First Power Corriente[15].....	22
Tabla 6: Panasonic Corriente[8] .....	23
Tabla 7: Vision Corriente[14].....	23
Tabla 8: Resumen Efecto Corriente .....	24
Tabla 9: Estado de Carga y Ganancias .....	38
Tabla 10: Beneficios Arbitraje.....	44

# INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1. Introducción

En la actualidad, uno de los mayores retos de la ingeniería eléctrica se encuentra en el almacenamiento de grandes cantidades de energía. El desarrollo de energías renovables ha aumentado el interés acerca de este tema, debido a las fluctuaciones en la producción y en la demanda [1].

En este estudio se emplearán baterías electroquímicas como sistema de almacenamiento. Estas baterías proporcionan energía eléctrica a través de reacciones redox (reducción/oxidación) que generan una corriente entre cátodo y ánodo [1].

Principalmente hay tres tipos de baterías electroquímicas; las basadas en Níquel (NiCd, NiMH,...), las baterías de ácido-plomo (que utilizan ácido sulfúrico como electrolito) y las baterías de litio (Ión-litio) [1].

Para este proyecto se utilizarán las baterías referidas en la Tabla 1:

Tipo de Batería	Marca	Nombre	Capacidad
Ion-litio	Saft	Intensium Max	80 Ah
Plomo	Panasonic	LC-XC1238	38 Ah
Plomo	First Power	FP1250L	250 Ah
Plomo	Vision	6FM200D-X	200 Ah

Tabla 1: Baterías del proyecto.

## 2. Objetivos

Este proyecto tiene varios objetivos fundamentales:

- Estudio de la evolución del estado de salud de una batería a la que se somete a una carga de trabajo. Se conocen las condiciones del ambiente.
- Estudio de los beneficios obtenidos tras el arbitraje de una batería conectada a la red en compra-venta.

Para realizar estos objetivos, se ha decidido el uso de Excel como entorno de trabajo. Los algoritmos obtenidos en la parte teórica se implementarán a través de macros en dos libros de Excel: “Baterías” (para el estudio de salud) y “Baterías conectadas a la red. Arbitraje” (para el estudio de los beneficios).

Estos dos libros son la herramienta principal de los análisis realizados y el resultado final de este proyecto.

El uso de macros permite aunar la visualización directa de los datos en las hojas de Excel y la implementación de los bucles y condiciones que se requieren para el análisis.

El objetivo de este proyecto no será el estudio de la legislación vigente referida a los peajes y tarifas eléctricas, ni en los componentes estadísticos o económicos usados para la obtención de expresiones matemáticas, por lo que no se ahondará en estos aspectos.

# CAPÍTULO 1: ESTADO DE SALUD. COSTE.

## 1. Descripción del Estado de Salud (SOH) de una batería.

El SOH de una batería identifica la capacidad de realizar correctamente sus funciones [4]. La definición exacta del SOH, dada en porcentaje, dependerá del uso al que se le dé a la batería, por ejemplo, para una batería de un coche eléctrico híbrido se considera que ha muerto, o lo que es lo mismo, que su SOH es de 0%, cuando sólo es capaz de dar el 60% de su potencia inicial[5]. El SOH se expresa en la

Ec. ( 1).

$$SOH(\%)(t) = \frac{Capacidad_{nominal}(t) - Capacidad_{SOH=0\%}}{Capacidad_{nominal\ inicial} - Capacidad_{SOH=0\%}} \quad Ec. ( 1)$$

Para poder entender correctamente el Estado de Salud antes se deben explicar una serie de parámetros básicos de la batería[6]:

- 1- Capacidad en Amperios Hora: El valor en amperios hora se refiere a la corriente que una batería puede suministrar de forma que se agote en una hora. Por ejemplo una batería de 220 Ah (Amperios hora), puede suministrar 220 A durante una hora antes de agotarse.

2- Estado de Carga (SOC- State of Charge): Porcentaje de la carga almacenada restante de una batería con respecto a su capacidad nominal en un tiempo determinado.

$$SOC(\%) = \frac{Carga\ almacenada(t)}{Capacidad_{nominal}(t)} \cdot 100 \quad Ec. (2)$$

Se puede relacionar el SOC de una batería con su estado de salud, a través de la capacidad nominal en función del tiempo; Ec. (3).

$$SOC(\%) = \frac{Carga\ almacenada(t)}{Capacidad_{nominal\ inicial} \cdot SOH(t) + Capacidad_{SOH=0\%} \cdot (1 - SOH(t))} \quad Ec. (3)$$

3- Profundidad de Descarga (DOD- Depth of Discharge): Porcentaje de la capacidad total que se ha consumido, se representa con la Ec. (4) [7]:

$$DOD(\%) = 100 - SOC(\%) \quad Ec. (4)$$

Las consideraciones para la profundidad de descarga son las mismas que para el SOC en cuanto a la inclusión del SOH en su fórmula.

Se pueden encontrar varias técnicas para estimar el estado de salud de una batería, midiendo los distintos elementos de las baterías. Como por ejemplo el uso de lógica difusa [8], o a través del método EKF (Extended Kalman Filter) [9].

Se pretende obtener una estimación de la pérdida del SOH. Con este objetivo, se analizarán los distintos factores que afectan al estado de salud de una batería[5]:

- a) Profundidad de descarga (DOD): Al realizar un ciclo de carga y descarga de la batería, el desgaste de la batería será mayor cuanto mayor sea la profundidad de descarga a la que se ha producido ese ciclo. Este hecho comprueba a través de numerosos ensayos [10] y a través de la Fig. 1.

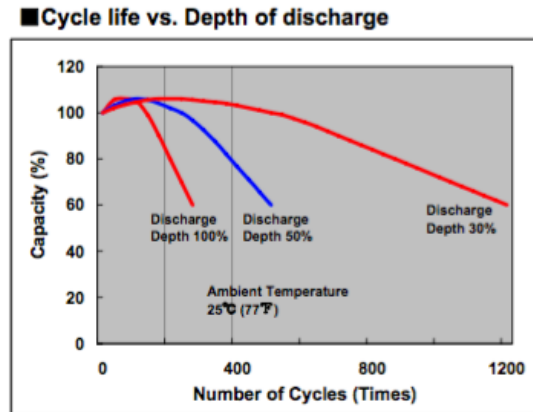


Fig. 1 : Gráfica de batería Panasonic [11]

- b) Temperatura: La batería tiene un funcionamiento óptimo en un rango de temperaturas que oscila entre los 15 y 25 grados. En temperaturas fuera de ese intervalo la batería verá reducida su “Esperanza de vida” o número de ciclos que podrá realizar antes de que su SOH llegue a 0 [5], visible en Fig. 2. Además se ha de tener en cuenta que las baterías tienen unos valores máximos y mínimos de temperatura a los que pueden funcionar.

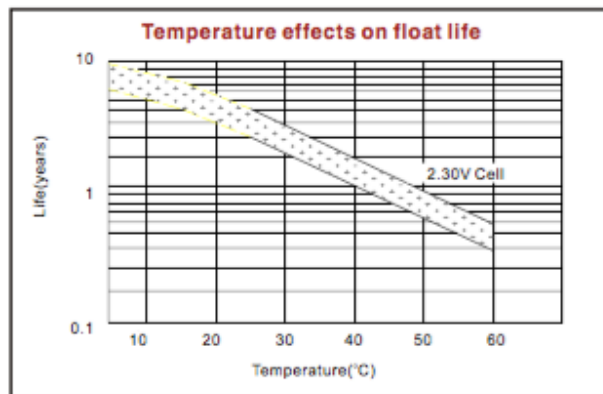


Fig. 2: Batería de la compañía Visión [12]

- c) Corriente de carga y descarga: A mayor corriente aplicada durante la carga y descarga de la batería el número de ciclos que podría realizar la batería antes de su muerte se reducirá [13].

Estos factores son los principales a la hora de estudiar el estado de salud de una batería aunque existan otros que también podrían ser considerados (cómo sería el de la eficiencia de la propia batería), pero serían necesarios más datos, por lo que el modelo obtenido se centrará en DOD, temperatura y corriente.

## 2. Algoritmo del estado de salud: coste.

Lo que se pretende en primer lugar es a partir de la teoría explicada en el apartado anterior y de los datos facilitados por los distintos fabricantes de baterías,

obtener un algoritmo que nos permita saber cuál será el coste de depreciación derivado de la variación del estado de salud de una batería tras un ciclo de carga y descarga.

### 2.1. Construcción del Algoritmo

Para esta modelización, se analizarán, por separado, los tres aspectos mencionados anteriormente: Profundidad de Descarga, Temperatura y Corriente de Descarga. Una vez obtenido la relación de cada uno de los tres factores con el SOH, se podrá obtener un algoritmo global.

### *Profundidad de Descarga*

La profundidad de descarga es el aspecto fundamental que marcará la duración de la batería. Dependiendo de la profundidad de descarga a la que se descargue y se cargue la batería ésta durará un número de ciclos mayor o menor. Antes de proseguir con los datos provistos por la compañías, conviene hacer una serie de aclaraciones:

En primer lugar, se debe establecer la diferencia entre profundidad de descarga y la variación del estado de carga, que se refiere a la consumición de la carga de la batería durante un tiempo determinado. Por ejemplo, si en una hora la carga de la batería pasa de 60 % a 50 %; la variación del estado de carga será del 10% mientras que el DOD será del 50% [7].

En segundo lugar, se debe establecer la definición de ciclo de carga y descarga. Se considera un ciclo de carga y descarga cuando a través del tiempo se ha producido una variación del SOC acumulado del 100%. Esto no quiere decir que el DOD sea de 100%, ya que un ciclo sería, por ejemplo, un régimen de carga y descarga por valor de 20% de variación del SOC realizado 5 veces y en la que el DOD máximo sería del 20% [14]. Ésta será la definición de SOC y DOD usada en este proyecto, sin embargo podemos encontrar diferentes interpretaciones [15].

Si se observa la Fig. 3 se muestra el número de ciclos máximo según el DOD y en la Fig. 4 capacidad de la batería en función del número de ciclos.



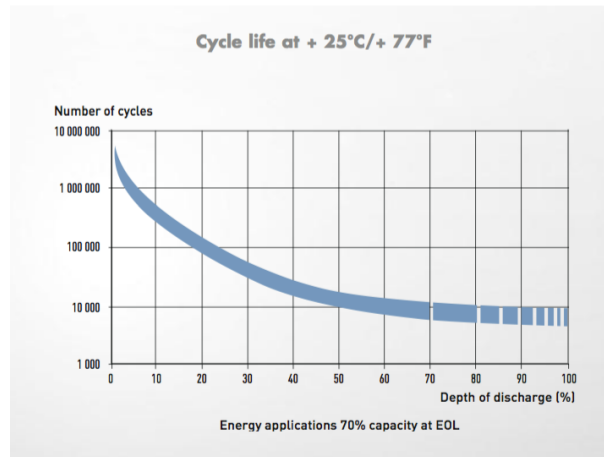


Fig. 3: Batería Saft[16]

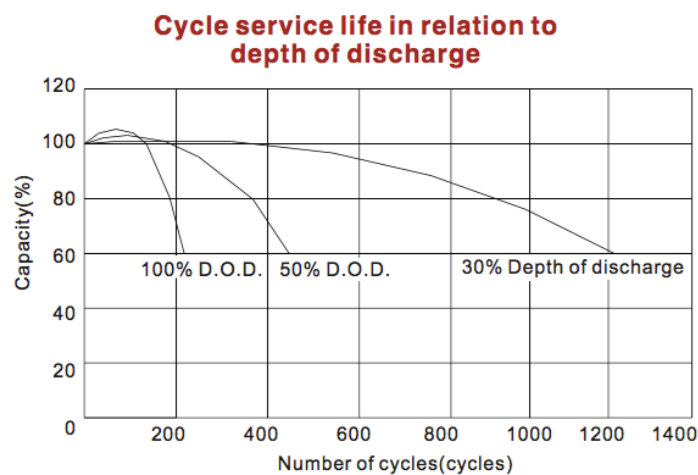


Fig. 4: Batería Visión[17]

Se puede llegar a la conclusión del comportamiento no lineal de la función que relaciona el número de ciclos de vida con el DOD. A través de los datos dados, se puede realizar una serie de gráficas en Excel, para elegir el modelo más adecuado. El criterio para decidir cuál expresión matemática se ajusta más al real será el valor de R cuadrado, conocido como coeficiente de determinación en estadística.

Este coeficiente evalúa la correspondencia entre los valores reales y la expresión que se usa como modelo, siendo el valor mínimo 0 (expresión no válida) y el máximo 1. Guarda relación con el método de mínimos cuadrados [18] [19].

Dependiendo del tipo de datos proporcionados, el procedimiento a seguir será distinto; el más directo es de la batería Saft, que como se aprecia en la Fig. 5, provee el número de ciclos para un DOD concreto. Todas las gráficas que se muestran en este apartado se han realizado para un valor fijo de temperatura de 25° C y una corriente de carga y descarga tal que la batería se descargue completamente en 20 horas.

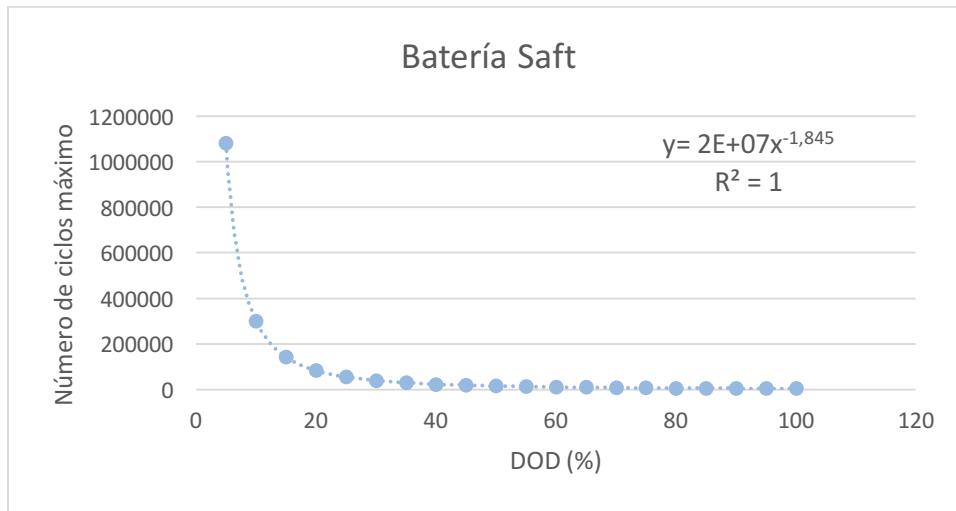


Fig. 5: Saft (DOD-Ciclos)

La línea discontinua marca la línea de tendencia potencial. La expresión que aparece en la esquina derecha superior representa la línea de tendencia. Debajo de la expresión matemática aparece el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Se puede apreciar la correlación con un valor de R cuadrado de 1, lo que indica que la función obtenida coincide prácticamente con los datos provistos.

En los otros tres casos de estudio (baterías Panasonic, Vision y First Power) se detalla el nivel de capacidad nominal con respecto al número de ciclos para un nivel concreto de DOD:

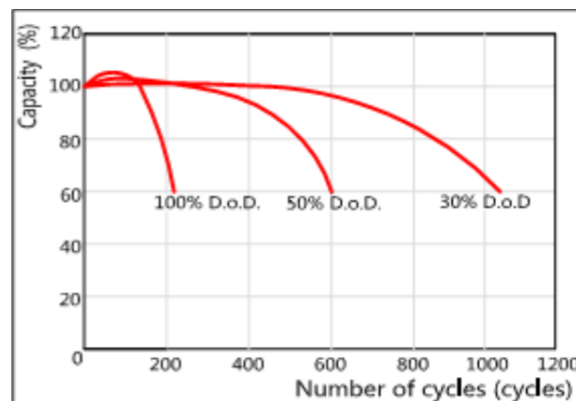


Fig. 6: First Power (Capacidad-Ciclos)[20]

Por lo tanto para estos tres casos, las gráficas tendrá un menor número de valores a representar y serán menos precisas a la hora de construir el algoritmo.

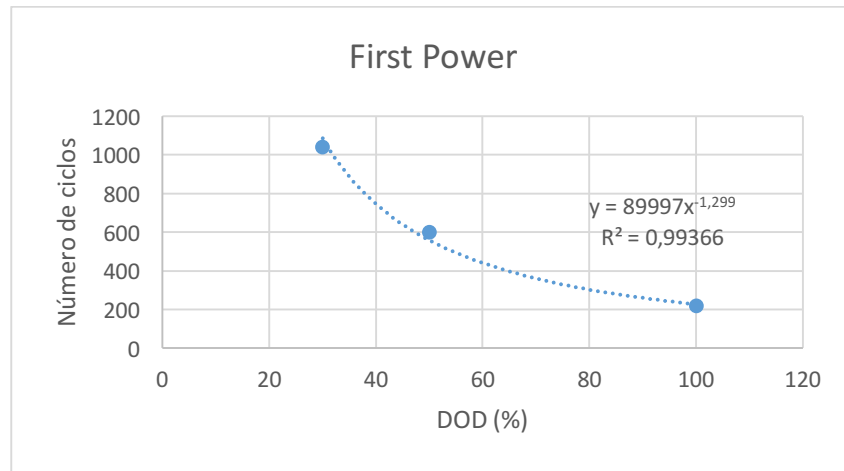


Fig. 7: FP (Ciclos-DOD)

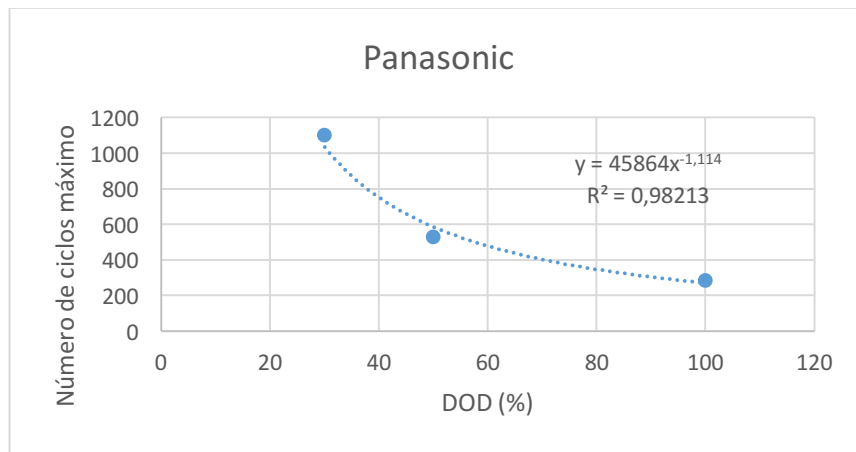


Fig. 8: Panasonic (Ciclos-DOD)

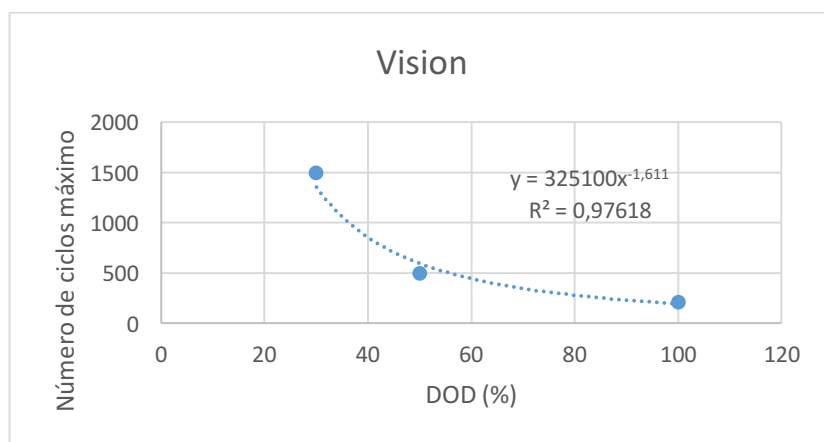


Fig. 9: Vision

En resumen; la relación del número de ciclos máximo con respecto al DOD por cada batería queda reflejado en la siguiente tabla:

Batería	Ecuación [NC = F(DOD)]
Saft	$NC = 2 \cdot 10^7 \cdot DOD(\%)^{-1,845}$
First Power	$NC = 89997 \cdot DOD(\%)^{-1,299}$
Panasonic	$NC = 45864 \cdot DOD(\%)^{-1,114}$
Vision	$NC = 325100 \cdot DOD(\%)^{-1,611}$

Tabla 2: Resumen Baterías

Cabe destacar la superioridad en ese apartado de la batería de la compañía Saft, de ión-Litio, con respecto al resto que son de plomo, sobretodo en ciclos de corto DOD.

### *Temperatura de la batería*

En este apartado se verá el efecto que tiene la temperatura sobre la capacidad de la batería y la esperanza de vida de esta. También se dividirá en dos, dependiendo de los tipos de datos proporcionados.

Las baterías de Saft y Visión proporcionan gráficas de la esperanza de vida de las baterías en función de la temperatura a la que se encuentren éstas:

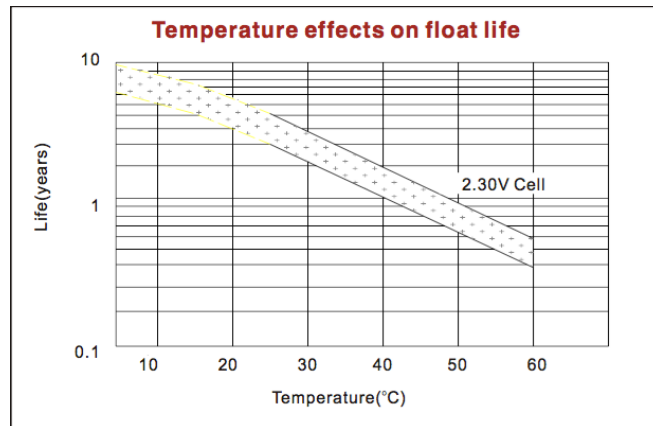


Fig. 10: Temperatura Visión[17]

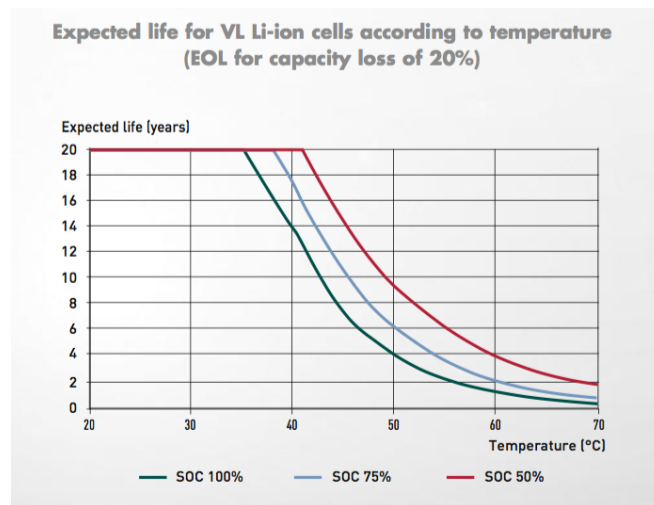


Fig. 11: Temperatura Saft[16]

El procedimiento a seguir en este caso partiría de la asunción de que los datos del número de ciclos con respecto al DOD se han realizado a una temperatura fija de 25°C, por lo que se toma el valor de la esperanza de vida para 25°C como unitario y el resto de valores se expresará por lo tanto en por unidad (p.u.).

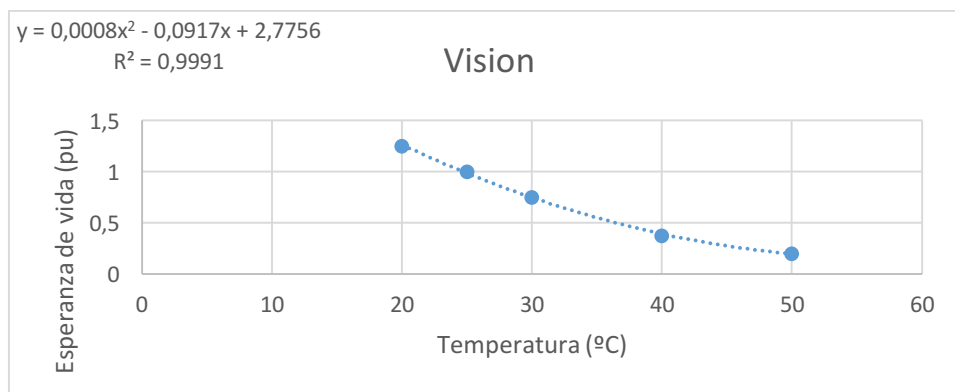


Fig. 12: Vision (Vida-Temp (°C))

Se debe realizar una corrección a los extremos de la curva para no incurrir en errores en el algoritmo. Esto se debe a que, como se puede apreciar en la fórmula dada y la gráfica, para valores muy bajos de temperatura o muy altos la esperanza de vida

tiende a infinito. Este hecho que no tiene sentido, ya que fuera de la zona de operación normal (10-60 °C aproximadamente) la vida de la batería se reduce drásticamente.

Al no disponer de valores en esos rangos no se puede aproximar de una forma más precisa.

La corrección realizada convertirá la función de la esperanza con respecto de la temperatura en una función a trozos, donde entre los valores representados en la gráfica se usará la función obtenida y en los extremos (por debajo de 20 y a partir de 50) se fijarán los valores últimos obtenidos.

$$Vida(T) (VISION) = \begin{cases} 1,25 & \text{si } T \leq 20 \\ 0,0008 \cdot T^2 - 0,0917 \cdot T + 2,7756 & \text{si } T \in (20,50) \\ 0,2 & \text{si } T \geq 50 \end{cases} \quad \text{Ec. ( 5)}$$

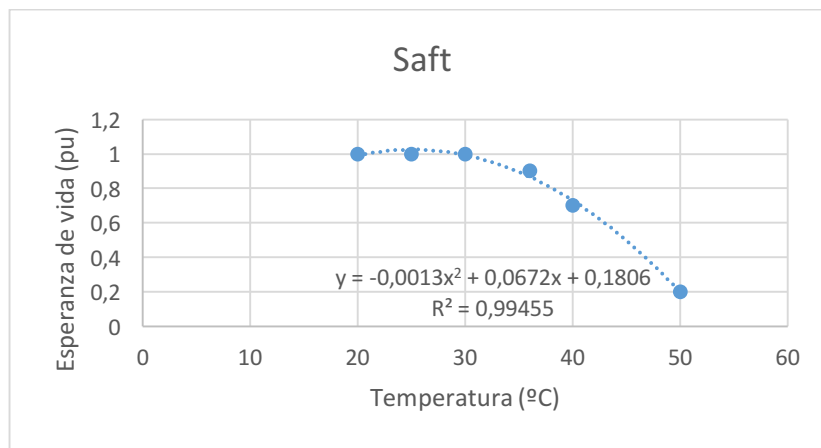


Fig. 13: Saft (Vida-Temperatura)

En este caso, la gráfica coincide con lo especificado en la teoría y la única corrección a realizar es en los casos en los que de una esperanza de vida negativa en p.u., intercambiar el valor por 0.

Por otra parte, Panasonic y First Power proporcionan en sus hojas de especificaciones una relación de la variación de capacidad con respecto a la temperatura considerando la corriente de descarga constante.

Temperature Dependency of Capacity (20 hour rate)	40 °C	102 %
	25°C	100 %
	0°C	85 %
	-15°C	65 %

Tabla 3: Panasonic Temperatura[11]

Capacity affected by temperature (20 HR)	40°C	102 %
	25°C	100 %
	0°C	85 %
	-15°C	65 %

Tabla 4 : First Power Temperatura[20]

Estas gráficas modificarán el cálculo del SOC y, por lo tanto, del DOD para cada momento. Ejemplo: En caso de tener una batería con el 80% de SOC a una temperatura de 0°C el SOC real será el 85% del valor dado (El 85 % del 80% da como resultado 68%) y por lo tanto el DOD (100 - SOC) será del 32% en vez del 20%. Sólo se representa una gráfica ya que los datos son idénticos para las dos marcas.

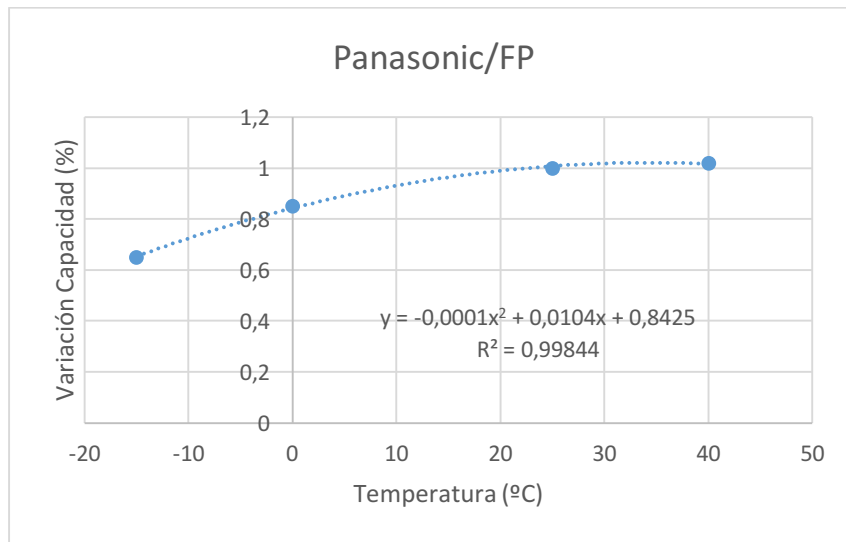


Fig. 14: Panasonic/FP Capacidad-Temperatura

Para First Power también se aporta una gráfica como las vistas para Panasonic y Vision:

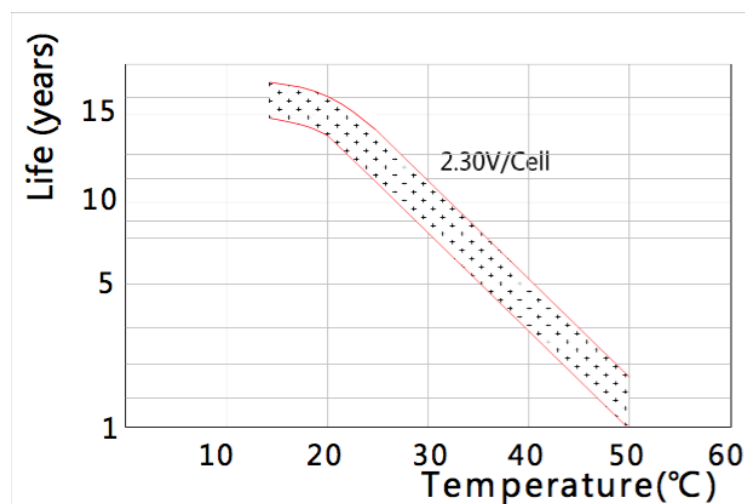


Fig. 15: First Power Temperatura-Vida[20]

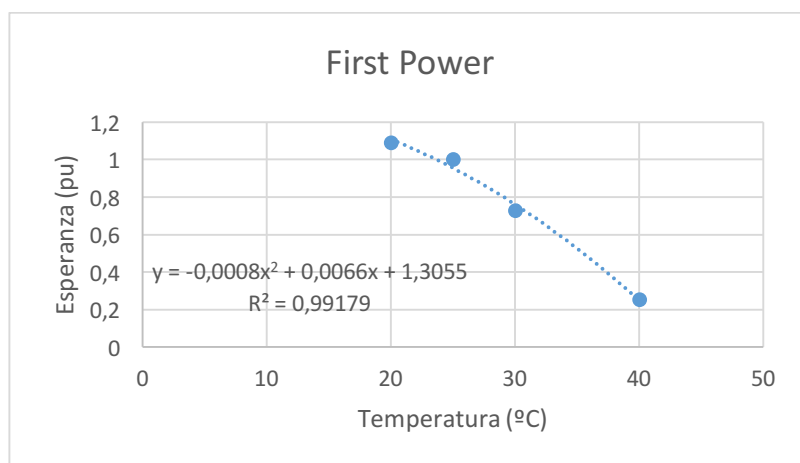


Fig. 16: First Power Temperatura

Igualmente para esta gráfica se corregirá para que a la hora de aplicar la fórmula en el algoritmo no haya una esperanza de vida negativa.

En conclusión, la acción de la temperatura en las distintas baterías se resume en la Tabla 5: Resumen relación SOH-Temp.

Batería	Vida (pu) =F(Tª) (°C)	Δ Capacidad (pu)=F(Tª)
Vision	$V = 0,0008(T^a)^2 - 0,0917(T^a) + 2,7756$ (LIMITADO de 20 a 50 °C)	1
Saft	$V = -0,0013(T^a)^2 + 0,0672(T^a) + 0,1806$	1
First Power	$V = -0,0008(T^a)^2 + 0,0066(T^a) + 1,3055$	$\Delta C = -0,0001(T^a)^2 + 0,01048(T^a) + 0,8425$
Panasonic	1	$\Delta C = -0,0001(T^a)^2 + 0,01048(T^a) + 0,8425$

Tabla 5: Resumen relación SOH-Temp

### *Corriente de carga y descarga*

El efecto de la corriente de carga y descarga será parecido al de la temperatura con respecto a la capacidad efectiva de la batería, como se puede ver en las tablas 5,6,7.

10 HR	250 Ah
5 HR	187 Ah
1 HR	155 Ah

Tabla 6: First Power Corriente[20]



20 hour rate	38 Ah
10 hour rate	36 Ah
5 hour rate	35 Ah
1 hour rate	23 Ah

Tabla 7: Panasonic Corriente[11]

20 hour rate	200 Ah
10 hour rate	187 Ah
5 hour rate	179 Ah
1 hour rate	126 Ah

Tabla 8: Vision Corriente[17]

Para poder relacionar estos datos con corrientes de carga y descarga se debe realizar una traslación de los valores de horas que tarda en descargarse, mostrados en la tabla como HR (Hour Rate), en amperios. Para esto simplemente se debe dividir la Capacidad Nominal Inicial de la batería en amperios-hora por el número de horas.

Ejemplo: Para la batería FP12250L con una capacidad nominal inicial de 250 Ah, 10 HR equivalen a 25 amperios de descarga, pero si se descarga a 5HR la capacidad será de 187 Ah, y la corriente de descarga será de 37,4 A. Para simplificar, la corriente de carga será igual a la de descarga.

Por otro lado, la representación de la capacidad se hará en por unidad con respecto a la capacidad nominal estándar, por ejemplo en el caso de la batería FP12250L este valor sería de 250 Ah.

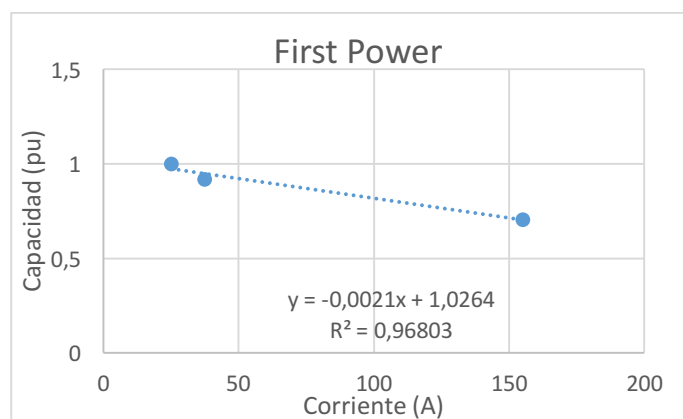


Fig. 17: First Power Capacidad-Corriente

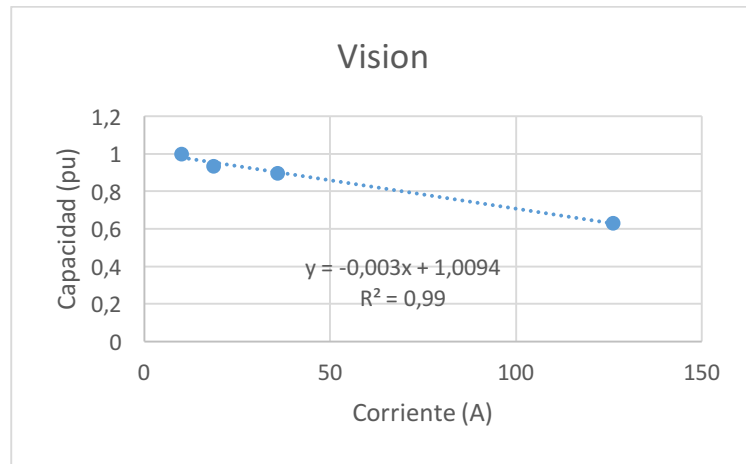


Fig. 18 Vision Capacidad-Corriente

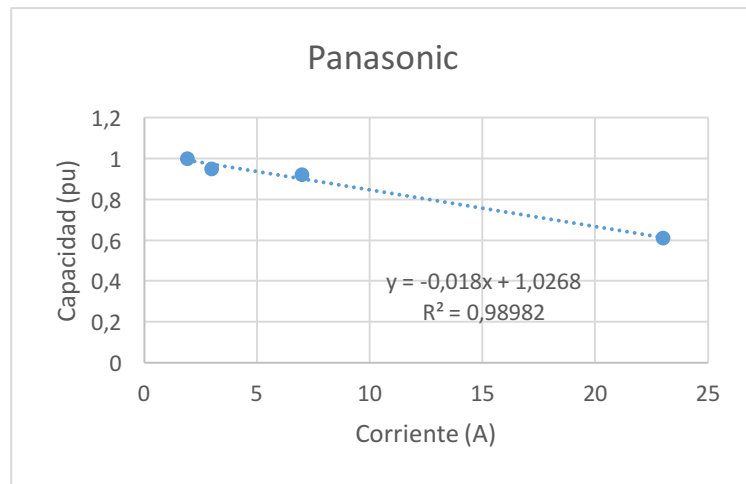


Fig. 19 Panasonic Capacidad-Corriente

Para resumir los efectos de la corriente en las distintas baterías se presenta la Tabla 9: Resumen Efecto Corriente.

Batería	F(I)
Panasonic	$F(I) = -0,018 \cdot I + 1,0268$
First Power	$F(I) = -0,0021 \cdot I + 1,0264$
Vision	$F(I) = -0,003 \cdot I + 1,0094$
Saft	1

Tabla 9: Resumen Efecto Corriente

Una vez concluido este apartado, se dispone de una fórmula que será la base del algoritmo que se construya, que será distinta para cada batería y que tendrá el siguiente aspecto:

$$SOH(\%) = \left(1 - \frac{NC_{realizados}}{NC_{m\acute{a}ximo}(DOD) \cdot F(I, T^a)}\right) \cdot 100 \quad \text{Ec. ( 6)}$$

### 3. Programa Excel: “Baterías”. Manual de uso.

Con toda la información obtenida en el anterior apartado y las fórmulas obtenidas se pretende crear un programa en la plataforma Excel, usando macros que permita visualizar el efecto de varios ciclos de carga con distintas configuraciones de intensidad, temperatura y DOD en las baterías propuestas (First Power, Vision, Saft y Panasonic). Por ello este manual se dividirá en dos partes, una primera en que se tratará el objetivo en cuanto a Interfaz de Usuario y el algoritmo utilizado en el programa, y la segunda parte en la que se presentará el interfaz final con instrucciones para el uso del programa.

#### 3.1. Interfaz y Algoritmo

El interfaz a usar por el usuario debiera contener únicamente un método de entrada a través del cual se introduzcan los distintos valores de corriente, temperatura, etc. Los valores de SOH y el número de ciclos deberán ir modificándose a cada bucle que realice el programa.

Un vez establecido todos estos valores, al ejecutar el programa aparecen los nuevos valores de SOH, la nueva capacidad máxima que tiene la batería y el coste de realizar ese número de ciclos. Además debe de incluirse algún mecanismo para resetear los valores.

El algoritmo debe recopilar las funciones vistas en los anteriores apartados. En primer lugar, se asume que la batería empieza al cien por cien de su capacidad nominal inicial. Por otro lado, la batería se descarga y vuelve a cargar en un valor de energía fijo, referido como  $E_s$ . De esta manera el SOC va a oscilar siempre entre el 100 % y  $\left(1 - \frac{E_s}{C_n(t)}\right) \cdot 100 \%$ , por lo que el DOD será igual a  $\frac{E_s}{C_n(t)} \cdot 100 \%$

Para el valor calculado de DOD y usando las distintas fórmulas de la Tabla 2, se obtendrá un número de ciclos máximo que puede aguantar la batería hasta que se considere que ésta ha muerto y a través de la

Ec. ( 6) se obtiene el estado de salud actualizado.

En versiones iniciales del algoritmo se añadía un paso intermedio basado en las gráficas de la relación de la carga total de la batería en función del número de ciclos, como la Fig. 20, que ha sido modificada para ilustrar de forma adecuada el cambio.

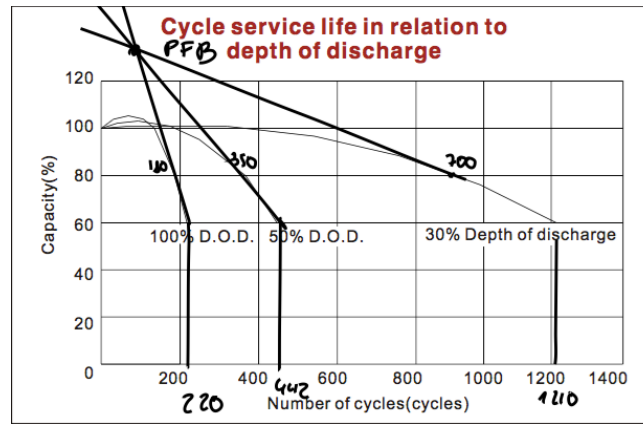


Fig. 20: Vision DOD Modificado [17]

La capacidad de la batería se mantiene al 100% hasta un punto en el que comienza a producirse el agotamiento de la batería, siendo la pendiente de la recta tangente a la curva de decaimiento mayor cuanto mayor el DOD de los ciclos. Esto planteaba varios problemas.

El primero era cuál debiera ser el valor de ciclos a partir del cual se empieza a dañar la batería si el DOD no ha sido constante y el segundo tiene que ver con el coste de ese número de ciclos producido para la zona que no sufre variación de SOH. Por estos motivos se decide eliminar esta parte del algoritmo.

Una vez calculado el SOH de la batería se puede calcular la capacidad actual de la batería y el coste de depreciación de la batería usando la Ec. ( 1):

$$Coste_{batería} = \left(1 - \frac{SOH}{100}\right) \cdot Precio_{batería} \quad Ec. ( 7)$$

### 3.2. Manual de uso

Al iniciar el programa el usuario tendrá la siguiente ventana:

Energía gastada (Ah)	30	VALORES A INTRODUCIR MARCADOS EN VIOLETA
SOH actual (%)	100	
Número de Ciclos	2000	Introducir el Número de Ciclos que se desea correr con la energía especificada
Número de Ciclos Previos	0	
Temperatura	25	Temperatura de la Batería
Corriente	18	Corriente a la que se va a realizar la carga y descarga

Panasonic	SOH ajuste	100	COSTE (Euros)	0
Plomo	Cn	38		
	Cf	38		
Vision	SOH ajuste	100	Coste(Euros)	0
Plomo	Cn	200		
	Cf	200		
Saft	SOH ajuste	100	Coste(Euros)	0
Li-Ni	Cn	80		
	Cf	80		
First Power	SOH Ajuste	100	Coste(Euros)	0
Plomo	Cn	250		
	Cf	250		

¿Alguna batería gastada?

Fig. 21 Visualización “Baterías”

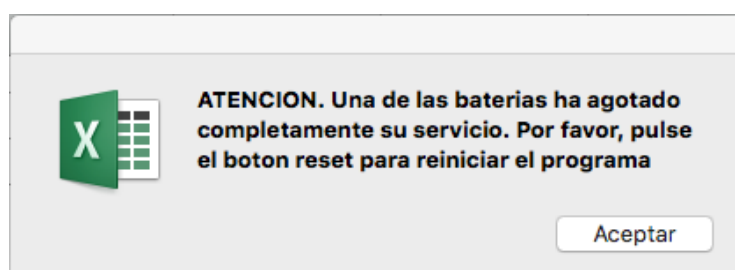
La mecánica de la programación en macros de Excel usada en la redacción de este proyecto puede encontrarse detallada en el siguiente documento [21]

Anotaciones:

1. Este botón ‘Hacer Ciclo’ ejecuta una serie de comandos, descritos en el Anexo 1 de este documento en el Sub “Botón1\_AIHacerClic” que modifican los valores de SOH según los valores correspondientes a cada una de las marcas de baterías. Se pueden encontrar en mayor detalle en el resto de hojas incluidas en el Libro de Excel, cada hoja denominada con el nombre de la marca.
2. Este botón ‘Reset’ devuelve todos los valores a los iniciales predeterminado (SOH para todas las baterías será de 100%, Número de Ciclos Previos igual a 0, todos los Costes se igualan a 0. El código de este botón se encuentra en el Anexo 1 bajo el Sub “Botón4\_AIHacerClic”
3. El valor de energía gastada introducido en esta celda será con el que se realizarán los ciclos de las baterías. En caso de que se introduzca un valor superior al de la capacidad de la batería el programa remplazará en los cálculos ese valor por el valor máximo de la capacidad de la batería. Debajo se ha de introducir también el valor del número de ciclos que se desea hacer.

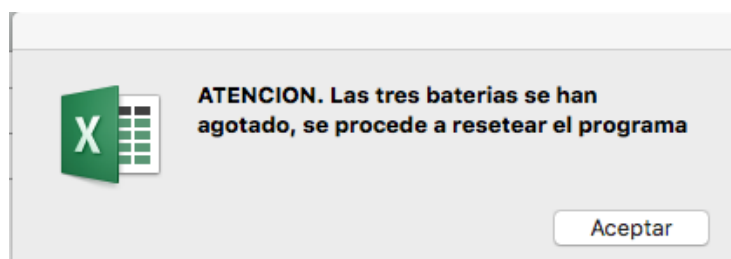
4. En esta franja se introducen los valores de temperatura y corriente en los que se van a producir los ciclos.
5. Aquí se mostrarán los valores de la capacidad nominal inicial ( $C_n$ ), la capacidad nominal final ( $C_f$ ) y el valor SOH
6. En esta celda se muestra el valor del coste de los ciclos bajo las condiciones marcadas.
7. Esta parte del programa muestra si alguna de las baterías ha alcanzado ya el valor de SOH de 0 %. En caso afirmativo aparecerá un 1 y en caso negativo un 0.

Esta última parte guarda relación con una parte del código del Botón “Hacer Ciclo” que al llegar una de las baterías al 0% de SOH hará aparecer una ventana con el siguiente mensaje:



*Fig. 22: Mensaje Atención 'Baterías'*

Este mensaje no volverá a aparecer, pero en caso de que el usuario siga pulsando el botón ‘Hacer ciclos’, hasta el punto de que ‘mueran’ las cuatro baterías, aparecerá el siguiente mensaje:



*Fig. 23: Mensaje Atención Reset*

Tras este mensaje, se producirá el mismo efecto que al pulsar el botón Reset.

En el resto de Hojas del Libro de Excel encontramos los datos utilizados de las distintas baterías, con las gráficas vistas en apartados anteriores y donde se encuentran implementados las distintas fórmulas para calcular el número de ciclo. Como muestra, se presenta la hoja que corresponde a la batería First Power:

2

DOD (%)	Ciclos	Vida(años)	Temperatura(°C)	Vida(pu)
100	220	15	20	1,090909091
50	600	10	30	0,727272727
30	1040	13,75	25	1
		3,5	40	0,254545455

	Corriente (A)	Vida(pu)
Corriente	25	1
	37,4	0,92
	155	0,706
	18	1,024516

1

Datos	
CN	250
Precio	520
D.O.D	12
Ciclos	3568
Ciclos+Temperatura+Corriente	3629

0,99275

Fig. 24: Hoja FP "Baterías"

Anotaciones:

1. Datos de Capacidad Nominal Inicial (CN), precio, DOD aproximado sin decimales, Número de Ciclos calculado usando sólo el DOD y Número de ciclos con correcciones de Temperatura y corriente ("Ciclos+ Temperatura+ Corriente"). El precio se ha obtenido de páginas web de venta de baterías como [22] o [23].
2. Tablas de los datos provistos por las compañías.

### Ejemplo práctico resuelto

Se quiere realizar 4000 ciclos de batería a un corriente de carga y descarga de 10 A. Considerando que la temperatura de las baterías se mantiene constante a 30°C, y que la energía que se almacena y consume es de 5 Ah, ¿Qué batería ha sufrido menos daño en la realización de estos ciclos? ¿Qué batería ha generado un menor coste de depreciación? ¿Qué batería ha 'muerto'?

### Solución:

Introducimos los valores establecidos en el enunciado:

Energía gastada (Ah)	5	VALORES A INTRODUCIR MARCADOS EN VIOLETA
SOH actual (%)	100	
Número de Ciclos	4000	Introducir el Número de Ciclos que se desea correr con la energía especificada
Número de Ciclos Previos	0	
Temperatura	30	Temperatura de la Batería
Corriente	10	Corriente a la que se va a realizar la carga y descarga

Fig. 25: Ejemplo práctico enunciado

Tras hacer click en el botón ‘Hacer Ciclo’, aparecen los resultados directamente en pantalla:

<b>Panasonic</b>	<i>SOH ajuste</i>	0		<i>COSTE (Euros)</i>	60
Plomo	<i>Cn</i>	38			
	<i>Cf</i>	22,8			
<b>Vision</b>	<i>SOH ajuste</i>	99,46157605		<i>Coste(Euros)</i>	1,97
Plomo	<i>Cn</i>	200			
	<i>Cf</i>	199,57			
<b>Saft</b>	<i>SOH ajuste</i>	99,41193075		<i>Coste(Euros)</i>	1,76
Li-Ni	<i>Cn</i>	80			
	<i>Cf</i>	79,81			
<b>First Power</b>	<i>SOH Ajuste</i>	87,01003475		<i>Coste(Euros)</i>	67,55
Plomo	<i>Cn</i>	250			
	<i>Cf</i>	217,5250869			

*Fig. 26: Solución Ejemplo*

Por lo tanto, la que ha sufrido menos ‘daño’ porcentualmente es la batería de Visión, la que ha generado menos gasto ha sido la Saft y la batería que ha “muerto” ha sido la de Panasonic. Con este ejemplo se trata de mostrar que el hecho de que una batería haya sufrido un mayor deterioro no implica necesariamente que se haya incurrido en un mayor coste ya que se ha de tener en cuenta el precio de la batería.

Con este ejemplo resuelto acaba el estudio del estado de salud de las baterías y se procede a su implementación en el programa de arbitraje de baterías conectadas a la red.





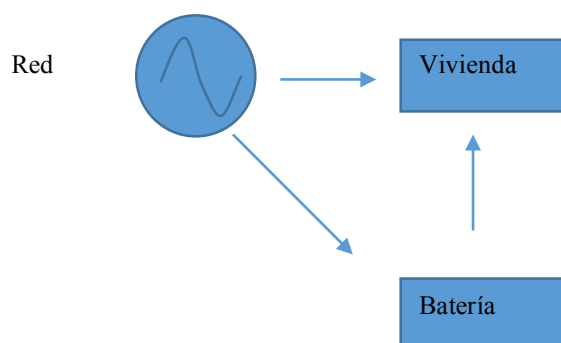
## CAPÍTULO 2: BATERÍAS CONECTADAS A LA RED. ARBITRAJE.

En este capítulo se analizarán distintos régimen de carga y descarga de la batería. El objetivo de este análisis es lograr el mayor beneficio posible en la compra-venta de energía en arbitraje.

Para este proyecto, el caso de estudio a considerar será una batería conectada a la red eléctrica para obtener energía y que suministra energía a un hogar cuando se descarga.

### 1. Arbitraje. Descripción.

El diseño del sistema a estudio sería el siguiente:



Esta representación es una simplificación de las conexiones entre la red y la batería. Entre ambos y entre la batería y la casa deberán encontrarse varios elementos que permiten su correcto funcionamiento; rectificador, inversor, etc.

La batería está conectada a la red y a la casa en un régimen de autoconsumo. Se podría dar el caso de que la batería suministrase energía en un momento en el que no haya consumo y por lo tanto se inyectaría esa energía en el sistema [26].

En este caso de estudio se busca evitar esta posibilidad de inyectar energía en la red con el fin de evitar pérdidas debido al pago del peaje por verte energía a la red correspondiente a la legislación española vigente [27].

Por lo tanto, en caso de que la demanda de energía fuese inferior a la energía que suministra la batería, la batería dejaría de funcionar con el objetivo de no generar excedente.

Presentado el esquema de montaje, se puede descomponer los distintos costes y ganancias a tener en cuenta:

- Ganancias: Como no se ha producido venta de energía al sistema eléctrico, la única fuente de ganancias en el caso de estudio es el ahorro que se obtiene al gastar la energía de la batería en vez de comprarla al precio del mercado eléctrico.
- Costes: Al coste de depreciación visto en el anterior capítulo hay que añadir la compra de energía a la red para cargar la batería.

Por lo tanto, el beneficio final se podría resumir en Ec. ( 8)

$$Beneficio = \left( \sum_{i=1}^m P_i \cdot E_i - \sum_{j=1}^n P_j \cdot E_j \right) - Coste_{depreciación} \quad Ec. ( 8)$$

Donde  $P_i$  ó  $j$  es el precio de venta de energía en euros por KWh en la hora  $i$  ó  $j$ . y  $E_i$  es la energía consumida o suministrada en la hora  $i$ . En esta fórmula se pueden incluir otros factores como el rendimiento de la distribución de energía y obtener la fórmula del beneficio que aparece en el siguiente documento [28] y que se ha usado de modelo para la Ec. ( 8)

El coste de depreciación viene dado por el algoritmo del capítulo 2. El precio de venta de energía a usar será el PVPC (Precio de Venta al Pequeño Consumidor) que viene a sustituir al TUR (tarifa de último recurso) según lo establecido por la legislación española actual; Real Decreto 216/2014 [29]. Ésta establece dos tipos de tarifas según se hayan contratado con la empresa distribuidora y los equipos que disponga la vivienda para la medida del consumo eléctrico[30]:

- Tarifa 2.0A: Tarifa del llamado precio único, en la que el precio de la energía se mantiene estable en torno a un valor sufriendo alteraciones dependiendo de la subasta energía producida. No se requiere la instalación de un contador inteligente.
- Tarifa 2.0DHA: Tarifa de precio con discriminación horaria. En esta tarifa existen dos periodos diferenciados por horas. Una zona en la que el precio es

más caro que en la tarifa de precio único, y una zona de valle, en la que el precio es más barato. Para poder acceder a esta tarea es necesario disponer de un contador inteligente que sea capaz de realizar la discriminación horaria.

Existe una tarifa adicional, la 2.0DHS, de régimen parecido a la 2.0DHA, añadiéndose una nueva zona llamada de “supervalle” entre la 1 y las 7 en la que el precio es aún barato, pero que sólo se aplica a la carga de vehículos eléctricos. Cabe esperar que la tarifa 2.0DHA sea más beneficiosa para el estudio que se realiza, debido a la diferencia que se dará entre el precio de compra y el de ahorro.

Añadido al precio que se muestra en esta tarifa debería aplicarse los distintos costes de distribución, que dependerá de la empresa con la que se haya realizado el contrato de electricidad y que se despreciarán para este estudio.

El PVPC aparece en la página web de red eléctrica el día anterior al consumo a las 20:15, lo que permite una organización de la compra y venta de energía teniendo en cuenta los precios que se han fijado [31].

En el caso de estudio de la batería conectada a la red se debe establecer para las dos tarifas cuál es el momento más idóneo para realizar la carga y descarga.

Si  $X$  es el precio para una hora determinada, cuál es el valor mínimo de  $X$  para el cuál conviene descargar la batería y cuál es el valor máximo para cargar la batería y cuanta energía se ha de consumir o almacenar en la operación.

Se requiere de un estudio de la demanda para evitar que se inyecte energía de vuelta al sistema, de forma que evite la descarga para las horas de menor demanda, como se puede observar en el siguiente documento [35]. En él se menciona los cambios en la distribución de la demanda por distintos factores como el clima o eventos especiales. Se describe la función de densidad de probabilidad para la demanda como una función normal.

Otro factor a tener en cuenta es el tiempo de uso (TOU-Time of Use) de la batería de forma que sea más eficiente [32] [33] [34].

Adicionalmente al análisis de este proyecto se podrían añadir variaciones de este en producción y venta:

- Producción de energía a través de placas solares con almacenamiento en baterías y suministro del hogar: En este caso el coste de carga de las baterías sería el derivado de la depreciación de los paneles y del mantenimiento de los mismos. Las ganancias serían iguales que las del caso de estudio.
- Venta de la energía almacenada en baterías directamente a la red: Habría que añadir el coste de peaje mencionado anteriormente, pero los precios de venta a la red no serían los establecidos en el PVPC.

## **2. Algoritmo de arbitraje.**

A partir de la información del anterior apartado, se construye un algoritmo que simule las condiciones el arbitraje y que dé como resultado el régimen de uso de las baterías que logre el mayor beneficio posible.

El algoritmo se construye de forma escalonada, a partir de partes de menor complejidad que irán incorporando distintas funcionalidades hasta llegar al programa final.

## 2.1. Simulación de precios y demanda

En primer lugar se debe analizar los precios de compra y venta de la energía y la demanda de energía que tendrá la vivienda a la que está conectada la batería.

Para la simulación de precios se han obtenido de la página oficial de red eléctrica [31] datos de siete días elegidos al azar entre Febrero y Mayo de 2016. Los datos a examinar (que se presentan con fecha en el libro de Excel “Baterías conectadas a la red. Arbitraje.”) son de precios de las tarifas 2.0A y 2.0DHA descritas en el apartado anterior. A partir de estos datos se pretende fijar un patrón para el algoritmo. La gráfica que se presenta a continuación se realiza a partir de la media de precio para cada hora:

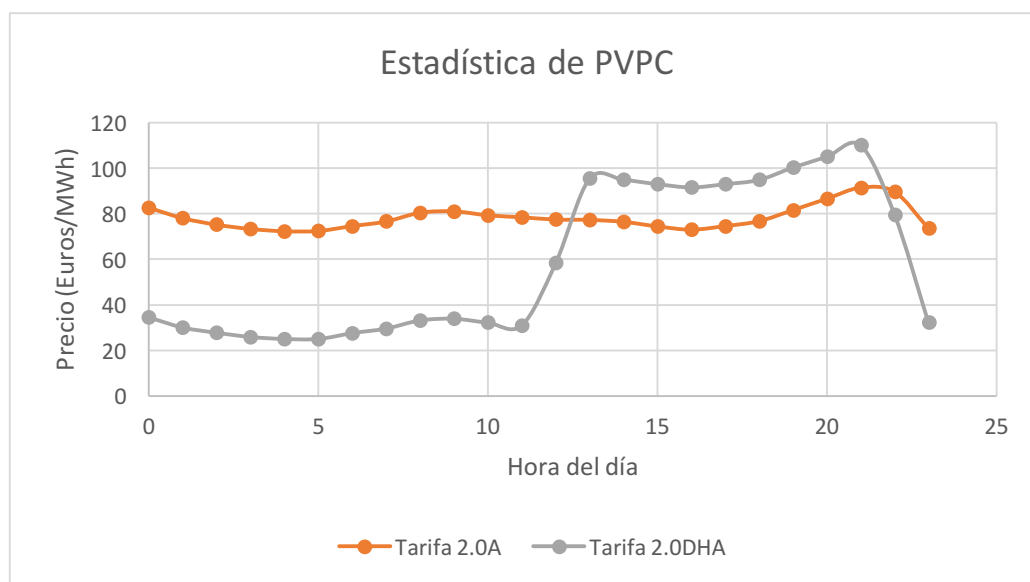


Fig. 27: Estadísticas de PVPC

En la gráfica se puede observar la estacionalidad de la tarifa 2.0A de precio único y los dos periodos de la tarifa 2.0DHA, sin embargo de esta última cabe mencionar dos puntos que tienen un comportamiento que no parece corresponder a ninguno de los periodos; éstos son las horas 13 y 22.

Los periodos de valle y punta son distintos dependiendo de la estación (invierno o verano). Las horas 13 y 22 se encuentran en un periodo de facturación en invierno y en el otro en verano.

Por este motivo se les excluye de los cálculos de la media de los periodos de facturación ya que se pretende hacer un programa que funcione todo el año, eliminando la dependencia respecto de la fecha.

Para las dos tarifas se pretende establecer una zona de precios donde se realice la compra, una donde se produzca la venta y una tercera en la que no se produzca ninguna operación, con el fin de no malgastar energía en precios bajos o comprar en precios caros:

- Tarifa 2.0A: Por defecto, se presupone una distribución normal de los precios de tarifa única, por lo tanto se efectuará compra de energía si el precio es inferior a la media de los precios diarios menos la desviación estándar, se descargará la batería si el precio en una hora es superior a la media más la desviación estándar y si no se encuentra en ninguno de los dos intervalos, no se realiza acción.
- Tarifa 2.0DHA: Se considera el periodo de menor precio el periodo de compra, aunque para que se realice la compra el precio de la hora debe ser inferior a la media de los precios de ese periodo. En el periodo de mayor precio, en el que se realizará la descarga, también se ha de cumplir la restricción en este caso de que el precio debe ser superior a la media de ese periodo.

	Tarifa 2.0 A	Tarifa 2.0DHA	
Periodo		Punta	Valle
Compra	$Si P_i < \overline{Precios} - \sigma_{precios}$	Nunca	$Si P_i < \overline{Precios}_{valle}$
Venta	$Si P_i > \overline{Precios} + \sigma_{precios}$	$Si P_i > \overline{Precios}_{punta}$	Nunca

Tabla 10: Compra-Venta

Aparte de estas consideraciones se ha de tener en cuenta las limitaciones físicas de la batería, es decir, que el estado de carga no supere el 100% o sea inferior al 0 %.

Para la simulación de demanda, al no disponer de datos de una vivienda, se utilizarán datos de red eléctrica de demanda total de España y se reescala a por unidad tomando como valor nominal para cada día el valor de potencia máximo diario [36]. Se toman diez valores y se calcula la media por horas para obtener la Fig. 28.

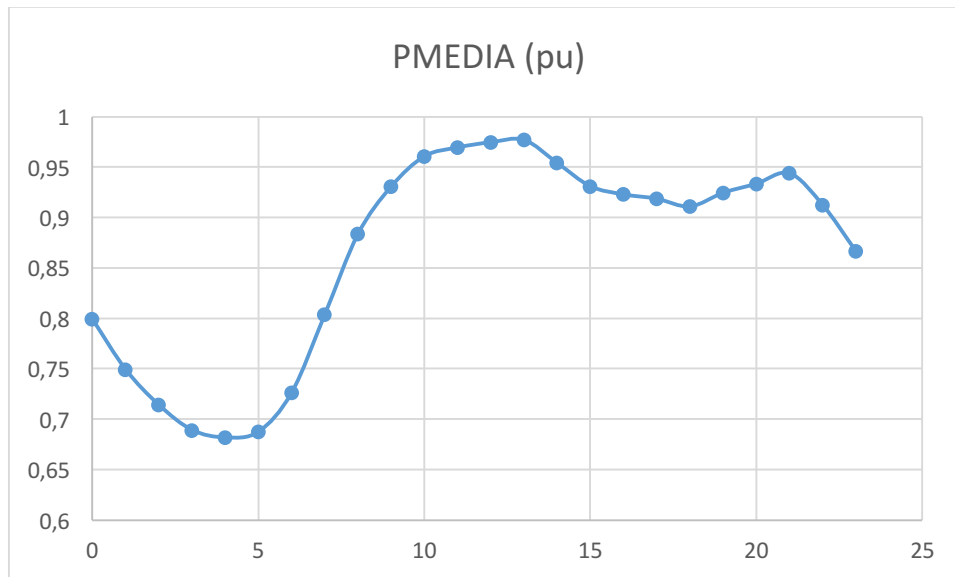


Fig. 28: Demanda (pu)

Esta gráfica es orientativa de la demanda del hogar en el que está instalada la batería, por lo que habría que modificar los valores para hacerlo coincidir con los de la

vivienda, pero lo más interesante es el perfil y comprobar cuáles son las horas de menor demanda para que el algoritmo no realice descarga de la batería durante estas horas. En este caso, dado el perfil, serían las horas 3,4 y 5, las tres horas de menor consumo.

## 2.2. Implementación en Baterías

Tras haber obtenido los límites de compra y venta en el apartado anterior ya se implementa este algoritmo en el utilizado en el programa “Baterías”.

El algoritmo en este caso debe para cada hora y en las dos tarifas, analizar si el precio en esa hora entra dentro de los parámetros de compra o venta y en caso afirmativo realizar la operación calculando el beneficio de ésta según la Ec. ( 8).

De esta forma se obtienen dos tipos de datos; por un lado el estado de carga de la batería durante todo el día con los distintos cambios que se han producido y por otro lado una tabla en la que aparecen los distintos intercambios económicos que se han producido, un ejemplo:

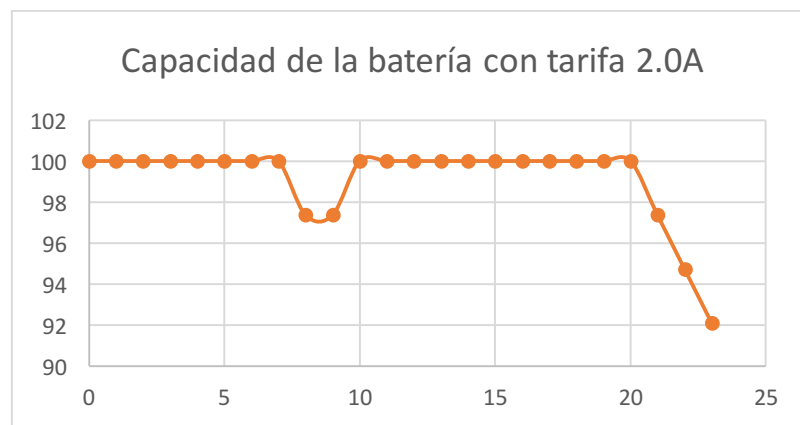


Fig. 29: Ejemplo Tarifa 2.0A

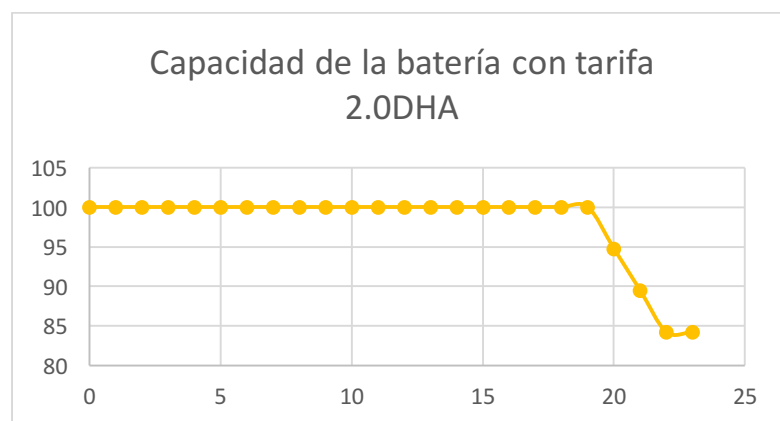


Fig. 30: Ejemplo Tarifa 2.0DHA

HORA	2.0A		2.0DHA	
	Ganancias	Capacidad	Ganancias	Capacidad
0	0	100	0	100
1	0	100	0	100
2	0	100	0	100
3	0	100	0	100
4	0	100	0	100
5	0	100	0	100
6	0	100	0	100
7	0	100	0	100
8	0,001507956	97,36842105	0	100
9	0	97,36842105	0	100
10	-0,001325876	100	0	100
11	0	100	0	100
12	0	100	0	100
13	0	100	0	100
14	0	100	0	100
15	0	100	0	100
16	0	100	0	100
17	0	100	0	100
18	0	100	0	100
19	0	100	0	100
20	0	100	0,002864246	94,73684211
21	0,001528908	97,36842105	0,002975231	89,47368421
22	0,001550203	94,73684211	0,003012025	84,21052632
23	0,001513545	92,10526316	0	84,21052632
Total	0,004774736		0,008852	

Tabla 11: Estado de Carga y Ganancias

En la fila final de la tabla aparece la suma de ganancias y costes en el día (sin contar con los costes de depreciación). Por ejemplo; en la hora 20 aplicando la tarifa 2.0A se ha reducido el SOC de la batería alrededor de 3% para obtener una ganancia de 0,0015 euros.

El estado final de carga queda registrado y al inicio del día siguiente será el estado de inicio de la batería. También se almacenan los valores de los beneficios totales durante los distintos días.

### 2.3. Optimización de corriente

Los valores obtenidos anteriormente se realizan con una corriente de carga y descarga constante de un valor fijado al azar. Con el fin de aumentar el beneficio, se implementa un algoritmo parecido a los vistos de TOU en apartados anteriores. En este caso se hará correr al programa de costes y ganancias del apartado 2.2 para valores de



corriente desde 1 A hasta el valor de Capacidad Máxima de la Batería. Se guarda en un array los valores de los beneficios para las distintas corrientes y una vez hecho esto se comprueba cuál da un mayor beneficio y se realiza el programa para ese valor de corriente óptimo. Esta comprobación se realiza mediante el siguiente algoritmo:

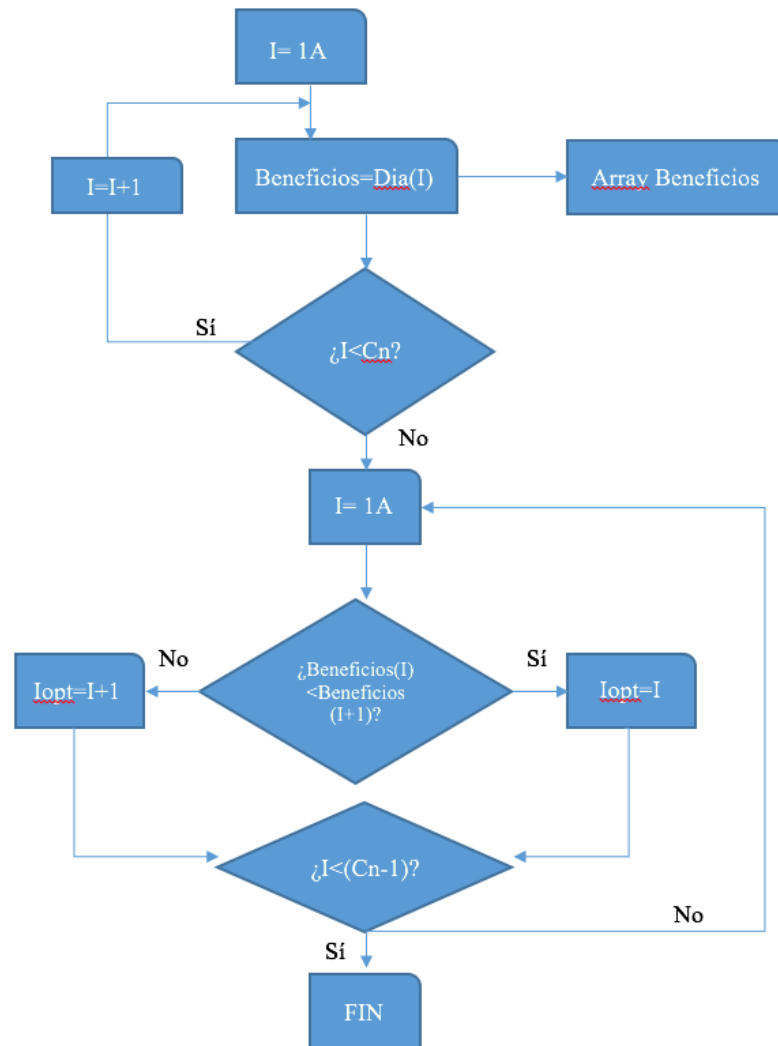


Fig. 31: Algoritmo corriente

Es posible que el valor de corriente óptimo difiera en las dos tarifas, por ese motivo se han separado dentro del algoritmo anterior las dos tarifas.

#### 2.4. Día completo

En este apartado final se replica lo visto anteriormente no sólo para una batería sino para todas las baterías que se han estudiado en este proyecto. De esta forma en una sola hoja y tras realizar una única acción se visualiza para el día del que se han extraído

los datos, los distintos estados de carga de las baterías y los beneficios obtenidos de cada una de ellas.

Se incluye también el coste de depreciación que en este caso se verá reflejado en cada apartado uniendo las ecuaciones 6, 7 y 8:

$$Beneficio_i = Ganancia_{venta,i} - \Delta SOH \cdot Precio_{batería} \quad \text{Ec. ( 9)}$$

$$Beneficio_i = I_{opt} \cdot P_i - \frac{I_{opt} / C_{nom}(t)}{N_{C_{máx}}(DOD) \cdot F(T^a, I_{opt})} \quad \text{Ec. ( 10)}$$

De esta forma queda ya construido el algoritmo completo de arbitraje.

### 3. “Baterías conectadas a la red. Arbitraje”. Manual de uso.

A partir de toda la información expuesta en los anteriores apartados se procede a crear un libro de Excel en el cual se pueda programar las distintas funciones obtenidas.

#### 3.1. Interfaz

Para este programa la interfaz será más compleja que la vista en el programa “Baterías”, debido a la mayor diversidad de posibilidades y de datos que se visualizan.

En las dos primeras hojas se hallan los datos usados para el análisis de los precios y la demanda referidos en apartados anteriores, para ambos casos existe la posibilidad de añadir más datos con el fin de profundizar en las conclusiones obtenidas. En la siguiente hoja se encuentra el programa principal a través de la siguiente interfaz:

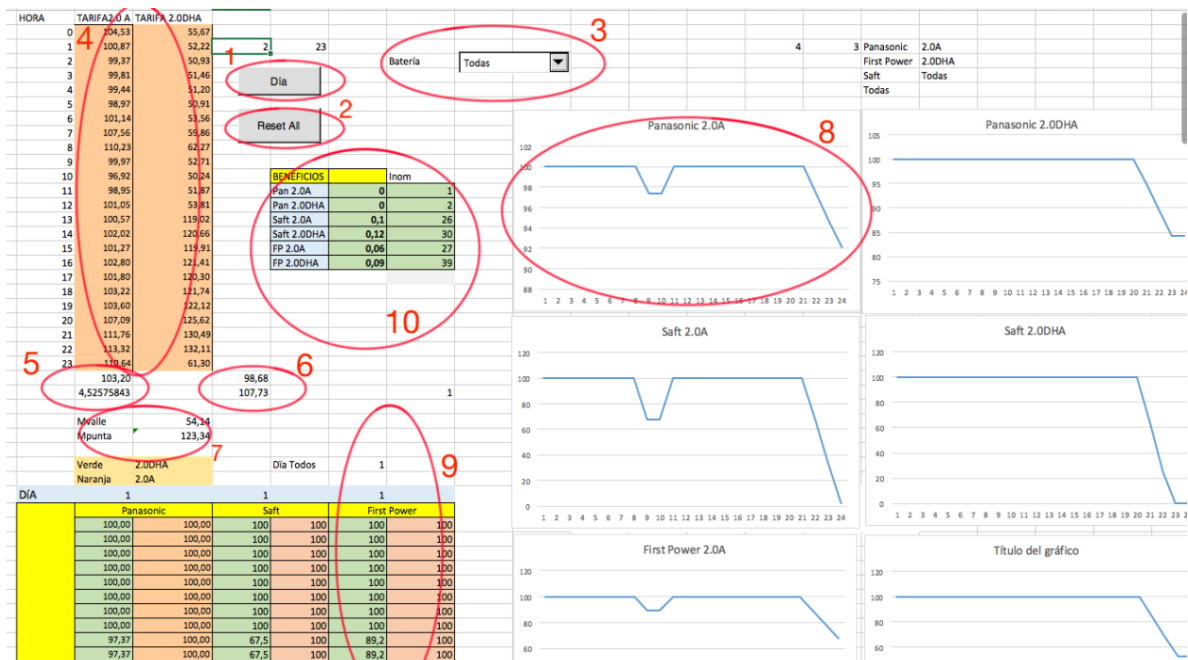


Fig. 32: Hoja de Excel con Anotaciones

#### Anotaciones:

1. Botón "Día": Haciendo click en este botón, se realizan todos los cálculos descritos en el apartado "Día completo" y se muestran en el resto de la hoja.
2. Botón "Reset All": Haciendo click en este botón, se vuelven al estado inicial todos los valores que se habían modificado en las diversas iteraciones.
3. Lista desplegable "Baterías": Por defecto aparece marcada la opción todas, pero en caso de que se desee se puede elegir que el ciclo de día solo afecte a una de las baterías.
4. En esta zona se muestra los valores del precio dependiendo de las tarifas (2.0A ó 2.0DHA).
5. Estos valores reflejan la media y la desviación estándar de los precios de la tarifa 2.0A.
6. Estos valores son los correspondientes a la suma de la media y la desviación estándar y la resta entre la media y la desviación estándar de los precios de la tarifa 2.0A.
7. En esta zona se muestran los valores de las medias para los periodos valle y punta de la tarifa 2.0DHA.
8. En estas gráficas se muestran los distintos cambios en el estado de carga para el día a calcular dependiendo de tarifa y marca de batería.
9. En esta tabla se muestran los distintos estados de carga por los que han pasado las baterías en la última semana, la gráfica de estos datos aparece en la correspondiente hoja de cada marca de batería.
10. En esta tabla se muestran los resultados finales de corriente nominal óptima a realizar las cargas y descarga y el beneficio máximo obtenido con ella.

En el resto de hojas del libro encontramos información particular de cada una de las baterías, y acciones específicas para ellas:



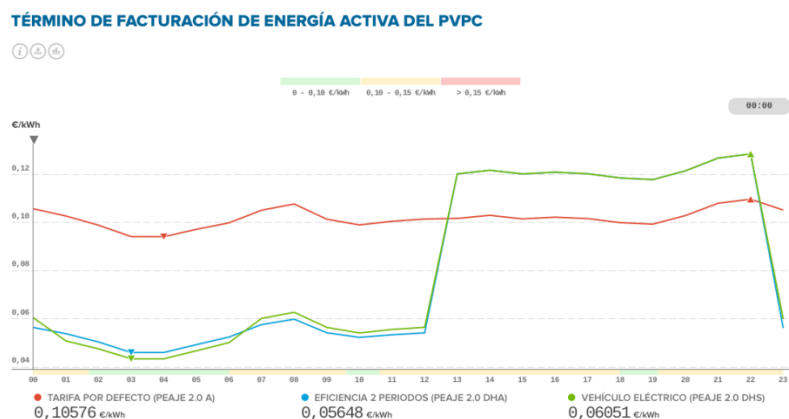


Fig. 34 Página Red Eléctrica [31]

En la esquina izquierda superior aparece un botón de compartir que permite la descarga del siguiente Excel:

Hora				Coste acceso PVPC		Coste producción		Total		Coste otras		Servicio		Total		Otras costas	
Día	Hora	Peaje	Periodo	Término energía PVPC €/MWh consumo	Peaje acceso €/MWh consumo	Precio producción TCU+CP a(1+PERD100) €/MWh consumo	% coeficiente pérdidas PVPC	% coeficiente pérdidas exterior	Coste producción CP €/MWh	Total OC €/MWh	Financiación OS €/MWh	Financiación OM €/MWh	Carga capacidad €/MWh	Servicio Interrupción €/MWh	Total SAH	Otras costas €/MWh	
14/01/2016	4:2.0A	1	1	70,89	44,03	26,86	21,3	14,0	22,14	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	6,94	0	
14/01/2016	5:2.0A	1	1	69,31	44,03	25,29	20,8	14,0	20,93	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	6,16	0	
14/01/2016	6:2.0A	1	1	72,83	44,03	26,80	19,4	14,0	24,12	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	6,14	0	
14/01/2016	7:2.0A	1	1	85,11	44,03	41,08	16,8	14,0	35,17	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	5,43	0	
14/01/2016	8:2.0A	1	1	103,78	44,03	39,75	18,1	14,0	30,39	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	3,84	0	
14/01/2016	9:2.0A	1	1	113,13	44,03	69,11	20,6	14,0	57,30	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	3,79	0	
14/01/2016	10:2.0A	1	1	106,21	44,03	62,19	11,7	14,0	55,67	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	2,90	0	
14/01/2016	11:2.0A	1	1	106,60	44,03	62,58	10,3	14,0	56,73	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	2,81	0	
14/01/2016	12:2.0A	1	1	106,09	44,03	62,07	10,0	14,0	56,42	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	2,75	0	
14/01/2016	13:2.0A	1	1	107,34	44,03	63,32	9,9	14,0	57,61	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	2,79	0	
14/01/2016	14:2.0A	1	1	112,53	44,03	68,50	15,9	14,0	59,10	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	2,72	0	
14/01/2016	15:2.0A	1	1	108,24	44,03	64,21	18,4	14,0	54,23	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	2,23	0	
14/01/2016	16:2.0A	1	1	106,40	44,03	62,37	20,1	14,0	51,93	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	2,54	0	
14/01/2016	17:2.0A	1	1	104,01	44,03	59,98	18,3	14,0	50,70	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	2,00	0	
14/01/2016	18:2.0A	1	1	110,18	44,03	66,15	15,4	14,0	57,32	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	3,33	0	
14/01/2016	19:2.0A	1	1	110,13	44,03	73,10	14,2	14,0	64,01	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	3,65	0	
14/01/2016	20:2.0A	1	1	117,68	44,03	79,65	15,6	14,0	63,71	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	3,36	0	
14/01/2016	21:2.0A	1	1	111,44	44,03	67,41	18,7	14,0	56,79	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	3,21	0	
14/01/2016	22:2.0A	1	1	112,86	44,03	68,84	23,6	14,0	55,69	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	3,49	0	
14/01/2016	23:2.0A	1	1	105,60	44,03	61,57	26,4	14,0	48,71	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	1,98	0	
14/01/2016	24:2.0A	1	1	100,74	44,03	56,71	27,0	14,0	44,65	0,57	0,11	0,02	4,63	1,81	2,44	0	
14/01/2016	1:0.0DHA	2	2	42,99	2,22	40,78	19,0	10,7	34,27	2,75	0,11	0,02	0,81	1,81	4,96	0	
14/01/2016	2:0.0DHA	2	2	33,23	2,22	31,01	18,1	10,7	26,26	2,75	0,11	0,02	0,81	1,81	6,03	0	
14/01/2016	3:0.0DHA	2	2	23,55	2,22	23,34	16,7	10,7	20,00	2,75	0,11	0,02	0,81	1,81	6,51	0	
14/01/2016	4:0.0DHA	2	2	23,52	2,22	21,30	16,9	10,7	18,32	2,75	0,11	0,02	0,81	1,81	6,94	0	
14/01/2016	5:0.0DHA	2	2	22,04	2,22	19,83	15,9	10,7	17,11	2,75	0,11	0,02	0,81	1,81	6,16	0	
14/01/2016	6:0.0DHA	2	2	25,52	2,22	23,30	14,8	10,7	20,30	2,75	0,11	0,02	0,81	1,81	6,14	0	
14/01/2016	7:0.0DHA	2	2	37,58	2,22	35,36	12,8	10,7	31,35	2,75	0,11	0,02	0,81	1,81	5,43	0	
14/01/2016	8:0.0DHA	2	2	55,44	2,22	53,22	13,8	10,7	46,77	2,75	0,11	0,02	0,81	1,81	3,84	0	
14/01/2016	9:0.0DHA	2	2	64,14	2,22	61,93	15,8	10,7	53,48	2,75	0,11	0,02	0,81	1,81	3,79	0	
14/01/2016	10:0.0DHA	2	2	56,68	2,22	54,46	8,9	10,7	51,85	2,75	0,11	0,02	0,81	1,81	2,90	0	
14/01/2016	11:0.0DHA	2	2	59,30	2,22	57,09	7,9	10,7	52,91	2,75	0,11	0,02	0,81	1,81	2,81	0	
14/01/2016	12:0.0DHA	2	2	58,81	2,22	56,60	7,6	10,7	52,60	2,75	0,11	0,02	0,81	1,81	2,75	0	
14/01/2016	13:0.0DHA	1	1	125,83	62,03	63,82	10,5	14,8	57,75	6,71	0,11	0,02	4,77	1,81	2,79	0	
14/01/2016	14:0.0DHA	1	1	131,21	62,03	69,20	16,8	14,8	59,24	6,71	0,11	0,02	4,77	1,81	2,72	0	
14/01/2016	15:0.0DHA	1	1	126,94	62,03	64,92	19,4	14,8	54,37	6,71	0,11	0,02	4,77	1,81	2,23	0	
14/01/2016	16:0.0DHA	1	1	125,13	62,03	63,11	21,2	14,8	52,07	6,71	0,11	0,02	4,77	1,81	2,54	0	
14/01/2016	17:0.0DHA	1	1	122,72	62,03	60,71	19,4	14,8	50,84	6,71	0,11	0,02	4,77	1,81	2,00	0	
14/01/2016	18:0.0DHA	1	1	128,84	62,03	66,83	16,3	14,8	57,46	6,71	0,11	0,02	4,77	1,81	3,33	0	
14/01/2016	19:0.0DHA	1	1	135,79	62,03	73,78	15,0	14,8	64,15	6,71	0,11	0,02	4,77	1,81	3,45	0	
14/01/2016	20:0.0DHA	1	1	136,66	62,03	74,39	16,5	14,8	63,85	6,71	0,11	0,02	4,77	1,81	3,36	0	

Fig. 35: Excel PVPC

De esta hoja de Excel sólo los datos de las tarifas 2.0A y 2.0DHA son relevantes. A pesar de que los datos no son legibles en la Fig. 35, lo que se pretende indicar es la zona de color anaranjado donde se hallan los valores del PVPC.

Estos datos se copian y pegan en la parte marcada por el número 4 en la Fig. 32. Al hacer click en el botón “Día”, aparecerá en pantalla la misma visualización de la Fig. 32. Los resultados de las corrientes que generan un mayor beneficio y las curvas del estado de carga de las baterías aparecen en la Tabla 12.

BENEFICIOS	Euros	Inom (A)
Pan 2.0A	<b>0</b>	1
Pan 2.0DHA	<b>0</b>	2
Saft 2.0A	<b>0,1</b>	26
Saft 2.0DHA	<b>0,12</b>	30
FP 2.0A	<b>0,06</b>	27
FP 2.0DHA	<b>0,09</b>	39

Tabla 12: Beneficios Arbitraje

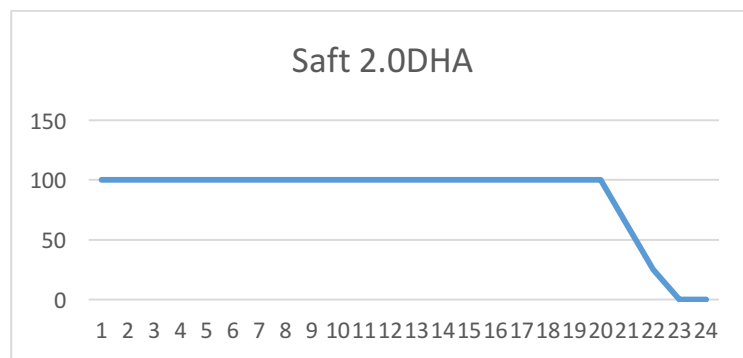


Fig. 36: Gráfica SOC Máximo beneficio

Se ha elegido para representar en la Fig. 36, la gráfica del SOC de la batería con la que se obtiene un mayor beneficio. A partir de este punto, se podría elegir trabajar sólo con esta batería seleccionándola en la barra de desplegables que aparece en el punto 3 de la Fig. 32.

Batería	Saft	▼
---------	------	---

Fig. 37: Barra de desplegables

# CONCLUSIÓN

El estudio del estado de salud de las baterías a través de previsiones está todavía por desarrollar, principalmente por la complejidad de las variables que intervienen. Es un estudio multidisciplinar, donde están presentes áreas tan diversas como la electricidad, química, fluidos...

Se han logrado los objetivos de forma satisfactoria; creando los dos libros de Excel, que permiten expandir los análisis logrados en la teoría. En resumen , en este trabajo se ha llegado a distintas conclusiones:

- La profundidad de descarga es la condición de trabajo que afecta en mayor medida al envejecimiento de la batería. Temperatura y corriente afectarán a los valores calculados en la Tabla 2.
- En cuanto al aspecto económico, cabe destacar la tarifa de PVCP 2.0DHA, que permite identificar los dos periodos de valle y punta, como periodo de compra y venta por las diferencias de precios entre ellos.
- El beneficio diario obtenido por el programa es satisfactorio ya que es capaz de superar y en algunos casos ampliamente el coste de compra de la batería, pero un mayor análisis de estadísticas de precios en periodos más extensos o de los costes de depreciación, mejorarían el valor de las ganancias.
- El uso de baterías para arbitraje es recomendado ya que, a través de una instalación y un procedimiento de optimización de compra-venta, se pueden obtener amplios beneficios además de servir de apoyo a la generación solar y la demanda energética.





# BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. Hadjipaschalis, A. Poullikkas, and V. Efthimiou, “Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 6–7, pp. 1513–1522, Aug. 2009.
- [2] R. de Andrade, G. G. Sotelo, A. C. Ferreira, L. G. B. Rolim, J. L. da S. Neto, R. M. Stephan, W. I. Suemitsu, and R. Nicolsky, “Flywheel Energy Storage System Description and Tests,” *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 17, no. 2, pp. 2154–2157, Jun. 2007.
- [3] B. E. Conway, *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [4] H. Rahimi-Eichi, U. Ojha, F. Baronti, and M. Y. Chow, “Battery Management System: An Overview of Its Application in the Smart Grid and Electric Vehicles,” *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 7, no. 2, pp. 4–16, Jun. 2013.
- [5] D. Haifeng, W. Xuezhe, and S. Zechang, “A new SOH prediction concept for the power lithium-ion battery used on HEVs,” in *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2009, pp. 1649–1653.
- [6] M. Coleman, W. G. Hurley, and C. K. Lee, “An Improved Battery Characterization Method Using a Two-Pulse Load Test,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 2, pp. 708–713, Jun. 2008.
- [7] K. C. Divya and J. Østergaard, “Battery energy storage technology for power systems—An overview,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 79, no. 4, pp. 511–520, Apr. 2009.
- [8] P. Singh and D. Reisner, “Fuzzy logic-based state-of-health determination of lead acid batteries,” in *Telecommunications Energy Conference, 2002. INTEL EC. 24th Annual International*, 2002, pp. 583–590.
- [9] J. Kim and B. H. Cho, “State-of-Charge Estimation and State-of-Health Prediction of a Li-Ion Degraded Battery Based on an EKF Combined With a Per-Unit System,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 9, pp. 4249–4260, Nov. 2011.
- [10] T. Guena and P. Leblanc, “How Depth of Discharge Affects the Cycle Life of Lithium-Metal-Polymer Batteries,” in *INTEL EC 06 - Twenty-Eighth International Telecommunications Energy Conference*, 2006, pp. 1–8.
- [11] “Panasonic España.” [Online]. Available: <http://www.panasonic.com/es/>. [Accessed: 26-May-2016].
- [12] “CP12280S.pdf.” .
- [13] G. Ning, B. Haran, and B. N. Popov, “Capacity fade study of lithium-ion batteries cycled at high discharge rates,” *J. Power Sources*, vol. 117, no. 1–2, pp. 160–169, May 2003.
- [14] “Baterías - Ventajas de los iones de litio,” *Apple (España)*. [Online].

Available: <http://www.apple.com/es/batteries/why-lithium-ion/>. [Accessed: 16-Jun-2016].

[15] J. D. Dogger, B. Roossien, and F. D. J. Nieuwenhout, "Characterization of Li-Ion Batteries for Intelligent Management of Distributed Grid-Connected Storage," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 26, no. 1, pp. 256–263, Mar. 2011.

[16] "Intensium® Smart | Saft." [Online]. Available: <http://www.saftbatteries.com/battery-search/intensium%C2%AE-smart>. [Accessed: 16-Jun-2016].

[17] "Vision Europe." [Online]. Available: <http://www.vision-batt.eu/series>. [Accessed: 16-Jun-2016].

[18] "Coeficiente de determinación," *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 21-Jun-2016.

[19] "An R-squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models." [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304407696018180>. [Accessed: 21-Jun-2016].

[20] "FirstPower Rechargeable Lead Acid Battery." [Online]. Available: [http://www.efirstpower.com/Products\\_Standard\\_Battery.html](http://www.efirstpower.com/Products_Standard_Battery.html). [Accessed: 14-Jun-2016].

[21] J. P. García Sabater, G. Bravo i Reig, and A. López Gozalbes, "Manual básico para empezar a trabajar con macros de Visual Basic para Excel: Introducción al Visual Basic." Rogle; Universitat Politècnica de Valencia, 20-Feb-2014.

[22] "OSI Batteries - Vision Batteries." [Online]. Available: <http://www.osibatteries.com/m-91-vision-batteries.aspx>. [Accessed: 14-Jun-2016].

[23] "UPS Battery, APC Battery, Lead Acid Battery, APC Batteries, Sealed Lead Acid Battery." [Online]. Available: <http://www.upsbatterycenter.com/>. [Accessed: 15-Jun-2016].

[24] M. Malinowski, M. P. Kazmierkowski, S. Hansen, F. Blaabjerg, and G. D. Marques, "Virtual-flux-based direct power control of three-phase PWM rectifiers," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 37, no. 4, pp. 1019–1027, Jul. 2001.

[25] S. B. Kjaer, J. K. Pedersen, and F. Blaabjerg, "A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 41, no. 5, pp. 1292–1306, Sep. 2005.

[26] C. R. Lebrón, P. F. Marín, and R. C. Arín, "Impacto de diferentes mecanismos de retribución para la energía solar fotovoltaica," *An. Mecánica Electr.*, vol. 91, no. 3, pp. 4–7, 2014.

[27] "BOE.es - Documento BOE-A-2015-10927." [Online]. Available: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-10927](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-10927). [Accessed: 18-Jun-2016].

[28] S. B. Peterson, J. F. Whitacre, and J. Apt, "The economics of using plug-in hybrid electric vehicle battery packs for grid storage," *J. Power Sources*, vol. 195, no. 8, pp. 2377–2384, Apr. 2010.

[29] "BOE.es - Documento BOE-A-2014-3376." [Online]. Available:

[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-3376](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-3376). [Accessed: 19-Jun-2016].

[30] “Precio voluntario para el pequeño consumidor (PVPC) | Red Eléctrica de España.” [Online]. Available: <http://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/precio-voluntario-pequeno-consumidor-pvpc>. [Accessed: 19-Jun-2016].

[31] “PVPC | ESIOS electricidad · datos · transparencia.” [Online]. Available: <https://www.esios.ree.es/es/pvpc>. [Accessed: 19-Jun-2016].

[32] T. Y. Lee, “Operating Schedule of Battery Energy Storage System in a Time-of-Use Rate Industrial User With Wind Turbine Generators: A Multipass Iteration Particle Swarm Optimization Approach,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 22, no. 3, pp. 774–782, Sep. 2007.

[33] T. Y. Lee and N. Chen, “Effect of the battery energy storage system on the time-of-use rates industrial customers,” *Transm. Distrib. IEE Proc. - Gener.*, vol. 141, no. 5, pp. 521–528, Sep. 1994.

[34] Y. Cao, S. Tang, C. Li, P. Zhang, Y. Tan, Z. Zhang, and J. Li, “An Optimized EV Charging Model Considering TOU Price and SOC Curve,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 388–393, Mar. 2012.

[35] C. Byrne and G. Verbic, “Feasibility of residential battery storage for energy arbitrage,” in *Power Engineering Conference (AUPEC), 2013 Australasian Universities*, 2013, pp. 1–7.

[36] “Generación y consumo | ESIOS electricidad · datos · transparencia.” [Online]. Available: <https://www.esios.ree.es/es/generacion-y-consumo?date=19-06-2016>. [Accessed: 19-Jun-2016].

## ANEXO 1: CÓDIGO BATERÍAS.

**Sub** Botón1\_AlHacerClic()

Hoja1.Cells(8, 3) = Hoja1.Cells(8, 3)  
+ Hoja1.Cells(7, 3)

Hoja1.Cells(12, 4) = Hoja1.Cells(12,  
4) - (Hoja1.Cells(7, 3) / Hoja2.Cells(7,  
10)) \* 100

Hoja1.Cells(16, 4) = Hoja1.Cells(16,  
4) - (Hoja1.Cells(7, 3) / Hoja3.Cells(9,  
8)) \* 100

Hoja1.Cells(20, 4) = Hoja1.Cells(20,  
4) - (Hoja1.Cells(7, 3) / Hoja4.Cells(6,  
7)) \* 100

Hoja1.Cells(24, 4) = Hoja1.Cells(24,  
4) - (Hoja1.Cells(7, 3) / Hoja5.Cells(8,  
9)) \* 100

**If** (Hoja1.Cells(12, 4) < 0) **Then**  
Hoja1.Cells(12, 4) = 0

**End If**

**If** (Hoja1.Cells(16, 4) < 0) **Then**  
Hoja1.Cells(16, 4) = 0

**End If**

**If** (Hoja1.Cells(20, 4) < 0) **Then**  
Hoja1.Cells(20, 4) = 0

**End If**

**If** (Hoja1.Cells(24, 4) < 0) **Then**  
Hoja1.Cells(24, 4) = 0

**End If**

**If** (Hoja1.Cells(12, 4) = 0) **Or**  
(Hoja1.Cells(16, 4) = 0) **Or**  
(Hoja1.Cells(20, 4) = 0) **Or**  
(Hoja1.Cells(24, 4) = 0) **Then**  
**If** (Hoja1.Cells(29, 3) = 0) **Then**  
MsgBox ("ATENCIÓN. Una de  
las baterías ha agotado completamente  
su servicio. Por favor, pulse el botón  
reset para reiniciar el programa")

Hoja1.Cells(29, 3) =  
Hoja1.Cells(29, 3) + 1

**End If**

**If** (Hoja1.Cells(12, 4) = 0) **And**  
(Hoja1.Cells(16, 4) = 0) **And**

(Hoja1.Cells(20, 4) = 0) **And**  
(Hoja1.Cells(24, 4) = 0) **Then**

MsgBox ("ATENCIÓN. Las tres  
baterías se han agotado, se procede a  
resetear el programa ")

Hoja1.Cells(12, 4) = 100

Hoja1.Cells(16, 4) = 100

Hoja1.Cells(20, 4) = 100

Hoja1.Cells(8, 3) = 0

Hoja1.Cells(24, 4) = 100

Hoja1.Cells(29, 3) = 0

**End If**

**End If**

**End Sub**

**Sub** Botón4\_AlHacerClic()

Hoja1.Cells(12, 4) = 100

Hoja1.Cells(16, 4) = 100

Hoja1.Cells(20, 4) = 100

Hoja1.Cells(8, 3) = 0

Hoja1.Cells(24, 4) = 100

Hoja1.Cells(29, 3) = 0

**End Sub**

## ANEXO 2:

Parte 1: Precio y Demanda

**Sub** Macro1()

**Dim** i **As** Integer

**Dim** j **As** Integer

**Dim** a **As** Integer

a = 4

**For** j = 1 **To** 24

**For** i = 0 **To** 23

Hoja1.Cells(a, 1) = i

Hoja1.Cells(a, 2) = j

a = a + 1

**Next** i

**Next** j

**End Sub**

```

Sub Macro2()
    Dim r As Integer
    Dim s As Integer
    r = 1
    Dim b As Integer
    Dim t2a As Integer
    Dim t2dha As Integer
    b = 4

    For s = 1 To 7
        t2a = 0
        t2dha = 0
        Do While r = s

            t2a = t2a + Hoja1.Cells(b, 3)
            t2dha = t2dha +
Hoja1.Cells(b, 4)
            b = b + 1
            r = Hoja1.Cells(b, 2)
        Loop

        Hoja1.Cells(s + 3, 8) = t2a / 24
        Hoja1.Cells(s + 3, 9) = t2dha / 24
    
```

```

        Next s
    End Sub
Sub Macro3()

```

```

    Dim i As Integer
    Dim j As Integer
    Dim a As Integer
    Dim p2a As Integer
    Dim p2dha As Integer

    For i = 0 To 23
        j = 0
        a = 4
        p2a = 0
        p2dha = 0

        Do While j < 7
            If Hoja1.Cells(a, 1) = i Then

                p2a = p2a + Hoja1.Cells(a, 3)
                p2dha = p2dha +
Hoja1.Cells(a, 4)
                j = j + 1
            End If
            a = a + 1
        
```

Loop

```

        Hoja1.Cells(i + 4, 12) = p2a / 7
        Hoja1.Cells(i + 4, 13) = p2dha / 7
    
```

Next i

End Sub

Parte 2: Arbitraje.

```

Sub Macro4()
    'Seleccionado la opcion Panasonic-
    Todas en las barras de seleccion
    'En primer lugar se resuelve la
    tarifa 2.0A
    Dim i As Integer
    Dim a As Integer
    For i = 0 To 23 'Estas son las 24
    horas del dia
    
```

```

        If (Hoja3.Cells(i + 2, 3) <
Hoja3.Cells(26, 5)) And (Hoja4.Cells(7,
9) < 100) Then 'Esta parte se ejecuta si
la el precio es inferior a la media
    
```

```

        Hoja4.Cells(7, 9) =
Hoja4.Cells(7, 9) + Hoja4.Cells(7, 5)
        If (Hoja4.Cells(7, 9) > 100)
Then 'Correccion si el estado de salud
supera el 100 %
    
```

```

        a = Hoja4.Cells(7, 5) -
Hoja4.Cells(7, 9) + 100
        Hoja4.Cells(7, 9) = 100
        Else
        a = Hoja4.Cells(7, 5)
        End If
    
```

```

        Hoja4.Cells(i + 5, 12) = (-1) *
Hoja3.Cells(i + 2, 3) * Hoja4.Cells(10,
5) * Hoja4.Cells(11, 5) * (a /
Hoja4.Cells(7, 5)) / 1000000
        Hoja4.Cells(i + 5, 13) =
Hoja4.Cells(7, 9)
    
```

si su precio es inferior a la media de valle

```
ElseIf (Hoja3.Cells(i + 2, 3) >
(Hoja3.Cells(26, 3) + Hoja3.Cells(27,
3))) And (Hoja4.Cells(7, 9) > 0) Then
    Hoja4.Cells(7, 9) =
Hoja4.Cells(7, 9) - Hoja4.Cells(7, 5)
    If (Hoja4.Cells(7, 9) < 0) Then
        a = Hoja4.Cells(7, 5) +
Hoja4.Cells(7, 9)
        Hoja4.Cells(7, 9) = 0
    Else
        a = Hoja4.Cells(7, 5)
    End If
```

```
    Hoja4.Cells(i + 5, 12) =
Hoja3.Cells(i + 2, 3) * Hoja4.Cells(10,
5) * Hoja4.Cells(11, 5) * (a /
Hoja4.Cells(7, 5)) / 1000000
    Hoja4.Cells(i + 5, 13) =
Hoja4.Cells(7, 9)
    Hoja4.Cells(2, 5) =
Hoja4.Cells(2, 5) + a / 100 ' Añadimos
la porcion de ciclo correspondiente al
D.O.D
```

```
Else
    Hoja4.Cells(i + 5, 13) =
Hoja4.Cells(7, 9)
    Hoja4.Cells(i + 5, 12) = 0
```

End If

```
    If ((Hoja4.Cells(i + 5, 11) < 13) Or
(Hoja4.Cells(i + 5, 11) > 22)) Then
        'Comprobamos si esta en la hora de
compra de energia
```

```
        If Hoja3.Cells(i + 2, 4) <
Hoja3.Cells(29, 4) Then 'comprobamos
```

```
        Hoja4.Cells(8, 9) =
Hoja4.Cells(8, 9) + Hoja4.Cells(7, 6)
```

```
        If (Hoja4.Cells(8, 9) > 100)
Then
```

```
            a = Hoja4.Cells(7, 6) -
Hoja4.Cells(8, 9) + 100
            Hoja4.Cells(8, 9) = 100
```

Else

```
    a = Hoja4.Cells(7, 6)
End If
```

```
        Hoja4.Cells(i + 5, 14) = (-1) *
Hoja3.Cells(i + 2, 4) * Hoja4.Cells(10,
5) * Hoja4.Cells(11, 6) * (a /
Hoja4.Cells(7, 6)) / 1000000
        Hoja4.Cells(i + 5, 15) =
Hoja4.Cells(8, 9)
```

Else

```
        Hoja4.Cells(i + 5, 15) =
Hoja4.Cells(8, 9)
        Hoja4.Cells(i + 5, 14) = 0
    End If
```

Else

```
        If Hoja3.Cells(i + 2, 4) >
Hoja3.Cells(30, 4) Then
```

```
            Hoja4.Cells(8, 9) =
Hoja4.Cells(8, 9) - Hoja4.Cells(7, 6)
            If (Hoja4.Cells(8, 9) < 0)
```

Then

```
                a = Hoja4.Cells(7, 6) +
Hoja4.Cells(8, 9)
                Hoja4.Cells(8, 9) = 0
            Else
                a = Hoja4.Cells(7, 6)
```

End If

```

        Hoja4.Cells(i + 5, 14) =
Hoja3.Cells(i + 2, 4) * Hoja4.Cells(10,
5) * Hoja4.Cells(11, 6) * (a /
Hoja4.Cells(7, 6)) / 1000000
        Hoja4.Cells(i + 5, 15) =
Hoja4.Cells(8, 9)
        Hoja4.Cells(2, 6) =
Hoja4.Cells(2, 6) + a / 100

```

```

Else
        Hoja4.Cells(i + 5, 15) =
Hoja4.Cells(8, 9)
        Hoja4.Cells(i + 5, 14) = 0
End If

```

End If

```

Next i
        Hoja4.Cells(12, 5) = 100 -
(Hoja4.Cells(2, 5) / Hoja4.Cells(9, 5)) *
100
        Hoja4.Cells(12, 6) = 100 -
(Hoja4.Cells(2, 6) / Hoja4.Cells(9, 6)) *
100

        Hoja4.Cells(13, 9) = Hoja4.Cells(13,
9) + 1
        Hoja4.Cells(5 + Hoja4.Cells(13, 9),
19) = Hoja4.Cells(29, 12)
        Hoja4.Cells(5 + Hoja4.Cells(13, 9),
20) = Hoja4.Cells(29, 14)

```

End Sub

```

Sub Reset()
    Dim i As Integer
    Hoja4.Cells(7, 9) = 100
    Hoja4.Cells(8, 9) = 100

```

```

For i = 0 To Hoja4.Cells(13, 9)
    Hoja4.Cells(5 + i, 19) = 0
    Hoja4.Cells(5 + i, 20) = 0

```

```

Next i
Hoja4.Cells(13, 9) = 0
Hoja4.Cells(12, 5) = 100
Hoja4.Cells(12, 6) = 100
Hoja4.Cells(2, 5) = 0
Hoja4.Cells(2, 6) = 0

```

End Sub

```

Sub Macro5()
    Macro4
End Sub

```

Sub CorrientePan()

```

Dim CurrentA(1 To 75)
Dim CurrentDHA(1 To 75)
Dim CiclesA As Integer
Dim CiclesDHA As Integer
Dim SOCa As Integer
Dim SOCdha As Integer
Dim DiasP As Integer

```

```

DiasP = Hoja4.Cells(13, 9)
CiclesA = Hoja4.Cells(2, 5)
CiclesDHA = Hoja4.Cells(2, 6)
SOCa = Hoja4.Cells(7, 9)
SOCdha = Hoja4.Cells(8, 9)

```

Dim i As Integer

```

For i = 1 To 75
    Hoja4.Cells(11, 5) = i
    Hoja4.Cells(11, 6) = i

```

Macro4

```

        CurrentA(i) = Hoja4.Cells(29, 12)
- (Hoja4.Cells(2, 5) / Hoja4.Cells(9, 5))
* Hoja4.Cells(5, 5)

```

```

CurrentDHA(i) = Hoja4.Cells(29,
14) - (Hoja4.Cells(2, 6) / Hoja4.Cells(9,
6)) * Hoja4.Cells(5, 5)

```

```

Hoja4.Cells(2, 5) = CiclesA
Hoja4.Cells(2, 6) = CiclesDHA
Hoja4.Cells(7, 9) = SOCa
Hoja4.Cells(8, 9) = SOCdha
Hoja4.Cells(13, 9) = DiasP

```

```

Next i
Dim n As Integer
Dim m As Integer
m = 1
n = 1

```

```

For i = 1 To 74
    If CurrentDHA(i + 1) >
CurrentDHA(m) Then
        m = i + 1
    End If

```

```

    If CurrentA(i + 1) > CurrentA(n)
Then
        n = i + 1
    End If

```

```

Next i

```

```

Hoja4.Cells(11, 6) = m
Hoja4.Cells(11, 5) = n
Macro4

```

```

End Sub

```

```

Sub DiaTotal()
    Dim dias As Integer
    Dim i As Integer

    Dim numero As Integer
    numero = Hoja3.Cells(3, 14)
    Select Case numero

```

```

Case 1 'Solo Panasonic
    dias = Hoja3.Cells(34, 3)
    CorrientePan

```

```

    DiaPan
Case 2 'Solo Saft
    dias = Hoja3.Cells(34, 5)
    CorrienteSaft
    DiaSaft

```

```

Case 3 'Solo First Power
    dias = Hoja3.Cells(34, 7)
    CorrienteFP
    DiaFP

```

```

Case 4
    dias = Hoja3.Cells(32, 7)
    CorrientePan
    DiaPan
    CorrienteSaft
    DiaSaft
    CorrienteFP
    DiaFP

```

```

End Select
End Sub

```

```

Sub DiaPan()
    dias = Hoja3.Cells(34, 3)
    If dias < 7 Then

```

```

        For i = (36 + dias * 24) To
(59 + dias * 24)
            Hoja3.Cells(i, 3) =
Hoja4.Cells(i - 31 - dias * 24, 13)
            Hoja3.Cells(i, 4) =
Hoja4.Cells(i - 31 - dias * 24, 15)
        Next i
        Hoja3.Cells(34, 3) =
Hoja3.Cells(34, 3) + 1

```

```

    Else
        For i = 0 To 143

            Hoja3.Cells(i + 36, 3) =
Hoja3.Cells(i + 60, 3)
            Hoja3.Cells(i + 36, 4) =
Hoja3.Cells(i + 60, 4)

```



```

        Next i
        For i = 0 To 23
            Hoja3.Cells(i + 180, 3) =
Hoja4.Cells(i + 5, 13)
            Hoja3.Cells(i + 180, 4) =
Hoja4.Cells(i + 5, 15)
        Next i
        Hoja3.Cells(34, 3) =
Hoja3.Cells(34, 3) + 1
    End If
End Sub

```

```

Sub DiaSaft()
    dias = Hoja3.Cells(34, 5)
    If dias < 7 Then

        For i = (36 + dias * 24) To
(59 + dias * 24)
            Hoja3.Cells(i, 5) =
Hoja5.Cells(i - 31 - dias * 24, 13)
            Hoja3.Cells(i, 6) =
Hoja5.Cells(i - 31 - dias * 24, 15)
        Next i
        Hoja3.Cells(34, 5) =
Hoja3.Cells(34, 5) + 1
    End If
End Sub

```

```

Else
    For i = 0 To 143

        Hoja3.Cells(i + 36, 5) =
Hoja3.Cells(i + 60, 5)
        Hoja3.Cells(i + 36, 6) =
Hoja3.Cells(i + 60, 6)
    Next i
    For i = 0 To 23
        Hoja3.Cells(i + 180, 5) =
Hoja5.Cells(i + 5, 13)
        Hoja3.Cells(i + 180, 6) =
Hoja5.Cells(i + 5, 15)
    Next i
    Hoja3.Cells(34, 5) =
Hoja3.Cells(34, 5) + 1
    End If
End Sub

```

```

Sub DiaFP()
    dias = Hoja3.Cells(34, 7)
    If dias < 7 Then

```

```

        For i = (36 + dias * 24) To
(59 + dias * 24)
            Hoja3.Cells(i, 7) =
Hoja6.Cells(i - 31 - dias * 24, 13)
            Hoja3.Cells(i, 8) =
Hoja6.Cells(i - 31 - dias * 24, 15)
        Next i
        Hoja3.Cells(34, 7) =
Hoja3.Cells(34, 7) + 1
    End If
End Sub

```

```

Else
    For i = 0 To 143

        Hoja3.Cells(i + 36, 7) =
Hoja3.Cells(i + 60, 7)
        Hoja3.Cells(i + 36, 8) =
Hoja3.Cells(i + 60, 8)
    Next i
    For i = 0 To 23
        Hoja3.Cells(i + 180, 7) =
Hoja6.Cells(i + 5, 13)
        Hoja3.Cells(i + 180, 8) =
Hoja6.Cells(i + 5, 15)
    Next i
    Hoja3.Cells(34, 7) =
Hoja3.Cells(34, 7) + 1
    End If
End Sub

```

```

Sub ResetDia()
    Hoja3.Cells(34, 3) = 0
    Hoja3.Cells(34, 5) = 0
    Hoja3.Cells(34, 7) = 0
    Reset
    ResetSaft
    ResetFP
    For i = 36 To 203
        For j = 3 To 8
            Hoja3.Cells(i, j) = 0
        Next j
    Next i
End Sub

```

```

End Sub

Sub Saft()

```

'Seleccionado la opcion Panasonic-  
Todas en las barras de seleccion

'En primer lugar se resuelve la  
tarifa 2.0A

Dim i As Integer

Dim a As Integer

For i = 0 To 23 'Estas son las 24  
horas del dia

If (Hoja3.Cells(i + 2, 3) <  
Hoja3.Cells(26, 5)) And (Hoja5.Cells(7,  
9) < 100) Then 'Esta parte se ejecuta si  
la el precio es inferior a la media

Hoja5.Cells(7, 9) =  
Hoja5.Cells(7, 9) + Hoja5.Cells(7, 5)  
If (Hoja5.Cells(7, 9) > 100)  
Then 'Correccion si el estado de salud  
supera el 100 %

a = Hoja5.Cells(7, 5) -  
Hoja5.Cells(7, 9) + 100  
Hoja5.Cells(7, 9) = 100  
Else  
a = Hoja5.Cells(7, 5)  
End If

Hoja5.Cells(i + 5, 12) = (-1) \*  
Hoja3.Cells(i + 2, 3) \* Hoja5.Cells(10,  
5) \* Hoja5.Cells(11, 5) \* (a /  
Hoja5.Cells(7, 5)) / 1000000  
Hoja5.Cells(i + 5, 13) =  
Hoja5.Cells(7, 9)

ElseIf (Hoja3.Cells(i + 2, 3) >  
(Hoja3.Cells(26, 3) + Hoja3.Cells(27,  
3))) And (Hoja5.Cells(7, 9) > 0) Then  
Hoja5.Cells(7, 9) =  
Hoja5.Cells(7, 9) - Hoja5.Cells(7, 5)  
If (Hoja5.Cells(7, 9) < 0) Then  
a = Hoja5.Cells(7, 5) +  
Hoja5.Cells(7, 9)  
Hoja5.Cells(7, 9) = 0  
Else

a = Hoja5.Cells(7, 5)  
End If

Hoja5.Cells(i + 5, 12) =  
Hoja3.Cells(i + 2, 3) \* Hoja5.Cells(10,  
5) \* Hoja5.Cells(11, 5) \* (a /  
Hoja5.Cells(7, 5)) / 1000000  
Hoja5.Cells(i + 5, 13) =  
Hoja5.Cells(7, 9)  
Hoja5.Cells(2, 5) =  
Hoja5.Cells(2, 5) + a / 100 ' Añadimos  
la porcion de ciclo correspondiente al  
D.O.D

Else  
Hoja5.Cells(i + 5, 13) =  
Hoja5.Cells(7, 9)  
Hoja5.Cells(i + 5, 12) = 0

End If

If ((Hoja5.Cells(i + 5, 11) < 13) Or  
(Hoja5.Cells(i + 5, 11) > 22)) Then  
'Comprobamos si esta en la hora de  
compra de energia

If Hoja3.Cells(i + 2, 4) <  
Hoja3.Cells(29, 4) Then 'comprobamos  
si su precio es inferior a la media de  
valle

Hoja5.Cells(8, 9) =  
Hoja5.Cells(8, 9) + Hoja5.Cells(7, 6)

If (Hoja5.Cells(8, 9) > 100)  
Then  
a = Hoja5.Cells(7, 6) -  
Hoja5.Cells(8, 9) + 100  
Hoja5.Cells(8, 9) = 100

Else  
a = Hoja5.Cells(7, 6)

End If

```
Hoja5.Cells(i + 5, 14) = (-1) *  
Hoja3.Cells(i + 2, 4) * Hoja5.Cells(10,  
5) * Hoja5.Cells(11, 6) * (a /  
Hoja5.Cells(7, 6)) / 1000000  
Hoja5.Cells(i + 5, 15) =  
Hoja5.Cells(8, 9)
```

Else

```
Hoja5.Cells(i + 5, 15) =  
Hoja5.Cells(8, 9)  
Hoja5.Cells(i + 5, 14) = 0  
End If
```

Else

```
If Hoja3.Cells(i + 2, 4) >  
Hoja3.Cells(30, 4) Then
```

```
Hoja5.Cells(8, 9) =  
Hoja5.Cells(8, 9) - Hoja5.Cells(7, 6)  
If (Hoja5.Cells(8, 9) < 0)
```

Then

```
a = Hoja5.Cells(7, 6) +  
Hoja5.Cells(8, 9)  
Hoja5.Cells(8, 9) = 0  
Else  
a = Hoja5.Cells(7, 6)
```

End If

```
Hoja5.Cells(i + 5, 14) =  
Hoja3.Cells(i + 2, 4) * Hoja5.Cells(10,  
5) * Hoja5.Cells(11, 6) * (a /  
Hoja5.Cells(7, 6)) / 1000000  
Hoja5.Cells(i + 5, 15) =  
Hoja5.Cells(8, 9)  
Hoja5.Cells(2, 6) =  
Hoja5.Cells(2, 6) + a / 100
```

Else

```
Hoja5.Cells(i + 5, 15) =  
Hoja5.Cells(8, 9)  
Hoja5.Cells(i + 5, 14) = 0  
End If
```

End If

Next i

```
Hoja5.Cells(12, 5) = 100 -  
(Hoja5.Cells(2, 5) / Hoja5.Cells(9, 5)) *  
100  
Hoja5.Cells(12, 6) = 100 -  
(Hoja5.Cells(2, 6) / Hoja5.Cells(9, 6)) *  
100
```

```
Hoja5.Cells(13, 9) = Hoja5.Cells(13,  
9) + 1  
Hoja5.Cells(5 + Hoja5.Cells(13, 9),  
19) = Hoja5.Cells(29, 12)  
Hoja5.Cells(5 + Hoja5.Cells(13, 9),  
20) = Hoja5.Cells(29, 14)
```

End Sub

Sub ResetSaft()

Dim i As Integer

```
Hoja5.Cells(7, 9) = 100  
Hoja5.Cells(8, 9) = 100
```

For i = 0 To Hoja5.Cells(13, 9)

```
Hoja5.Cells(5 + i, 19) = 0  
Hoja5.Cells(5 + i, 20) = 0
```

Next i

```
Hoja5.Cells(13, 9) = 0  
Hoja5.Cells(12, 5) = 100  
Hoja5.Cells(12, 6) = 100  
Hoja5.Cells(2, 5) = 0  
Hoja5.Cells(2, 6) = 0
```

End Sub

Sub CorrienteSaft()

```

Dim CurrentA(1 To 80)
Dim CurrentDHA(1 To 80)
Dim CiclesA As Integer
Dim CiclesDHA As Integer
Dim SOCa As Integer
Dim SOCdha As Integer
Dim DiasP As Integer

DiasP = Hoja5.Cells(13, 9)
CiclesA = Hoja5.Cells(2, 5)
CiclesDHA = Hoja5.Cells(2, 6)
SOCa = Hoja5.Cells(7, 9)
SOCdha = Hoja5.Cells(8, 9)

```

```

Dim i As Integer

```

```

For i = 1 To 80
    Hoja5.Cells(11, 5) = i
    Hoja5.Cells(11, 6) = i

```

```

Saft

```

```

    CurrentA(i) = Hoja5.Cells(29, 12)
- (Hoja5.Cells(2, 5) / Hoja5.Cells(9, 5))
* Hoja5.Cells(5, 5)
    CurrentDHA(i) = Hoja5.Cells(29,
14) - (Hoja5.Cells(2, 6) / Hoja5.Cells(9,
6)) * Hoja5.Cells(5, 5)

```

```

    Hoja5.Cells(2, 5) = CiclesA
    Hoja5.Cells(2, 6) = CiclesDHA
    Hoja5.Cells(7, 9) = SOCa
    Hoja5.Cells(8, 9) = SOCdha
    Hoja5.Cells(13, 9) = DiasP

```

```

Next i
Dim n As Integer
Dim m As Integer
m = 1
n = 1

```

```

For i = 1 To 74
    If CurrentDHA(i + 1) >
CurrentDHA(m) Then
        m = i + 1
    End If

    If CurrentA(i + 1) > CurrentA(n)
Then
        n = i + 1
    End If

Next i

```

```

Hoja5.Cells(11, 6) = m
Hoja5.Cells(11, 5) = n
Saft

```

```

End Sub

```

```

Sub FirstPower()
'Seleccionado la opcion Panasonic-
Todas en las barras de seleccion
'En primer lugar se resuelve la
tarifa 2.0A
Dim i As Integer
Dim a As Integer
For i = 0 To 23 'Estas son las 24
horas del dia

```

```

    If (Hoja3.Cells(i + 2, 3) <
Hoja3.Cells(26, 5)) And (Hoja6.Cells(7,
9) < 100) Then 'Esta parte se ejecuta si
la el precio es inferior a la media

```

```

        Hoja6.Cells(7, 9) =
Hoja6.Cells(7, 9) + Hoja6.Cells(7, 5)
        If (Hoja4.Cells(7, 9) > 100)
Then 'Correccion si el estado de salud
supera el 100 %

```

```

            a = Hoja6.Cells(7, 5) -
Hoja6.Cells(7, 9) + 100

```

```

        Hoja6.Cells(7, 9) = 100
    Else
        a = Hoja6.Cells(7, 5)
    End If

    Hoja6.Cells(i + 5, 12) = (-1) *
    Hoja3.Cells(i + 2, 3) * Hoja6.Cells(10,
    5) * Hoja6.Cells(11, 5) * (a /
    Hoja6.Cells(7, 5)) / 1000000
    Hoja6.Cells(i + 5, 13) =
    Hoja6.Cells(7, 9)

```

```

    ElseIf (Hoja3.Cells(i + 2, 3) >
    (Hoja3.Cells(26, 3) + Hoja3.Cells(27,
    3))) And (Hoja6.Cells(7, 9) > 0) Then
        Hoja6.Cells(7, 9) =
        Hoja6.Cells(7, 9) - Hoja6.Cells(7, 5)
        If (Hoja6.Cells(7, 9) < 0) Then
            a = Hoja6.Cells(7, 5) +
            Hoja6.Cells(7, 9)
            Hoja6.Cells(7, 9) = 0
        Else
            a = Hoja6.Cells(7, 5)
        End If
    End If

```

```

        Hoja6.Cells(i + 5, 12) =
        Hoja3.Cells(i + 2, 3) * Hoja6.Cells(10,
        5) * Hoja6.Cells(11, 5) * (a /
        Hoja6.Cells(7, 5)) / 1000000
        Hoja6.Cells(i + 5, 13) =
        Hoja6.Cells(7, 9)
        Hoja6.Cells(2, 5) =
        Hoja6.Cells(2, 5) + a / 100 ' Añadimos
        la porcion de ciclo correspondiente al
        D.O.D

```

```

    Else
        Hoja6.Cells(i + 5, 13) =
        Hoja6.Cells(7, 9)
        Hoja6.Cells(i + 5, 12) = 0
    End If

```

End If

```

    If ((Hoja6.Cells(i + 5, 11) < 13) Or
    (Hoja6.Cells(i + 5, 11) > 22)) Then
        'Comprobamos si esta en la hora de
        compra de energia
    End If

```

```

    If Hoja3.Cells(i + 2, 4) <
    Hoja3.Cells(29, 4) Then 'comprobamos
    si su precio es inferior a la media de
    valle

```

```

        Hoja6.Cells(8, 9) =
        Hoja6.Cells(8, 9) + Hoja6.Cells(7, 6)
    End If

```

```

    If (Hoja6.Cells(8, 9) > 100)
    Then
        a = Hoja6.Cells(7, 6) -
        Hoja6.Cells(8, 9) + 100
        Hoja6.Cells(8, 9) = 100
    End If

```

```

    Else
        a = Hoja6.Cells(7, 6)
    End If

```

```

        Hoja6.Cells(i + 5, 14) = (-1) *
        Hoja3.Cells(i + 2, 4) * Hoja6.Cells(10,
        5) * Hoja6.Cells(11, 6) * (a /
        Hoja6.Cells(7, 6)) / 1000000
        Hoja6.Cells(i + 5, 15) =
        Hoja6.Cells(8, 9)
    End If

```

```

    Else
        Hoja6.Cells(i + 5, 15) =
        Hoja6.Cells(8, 9)
        Hoja6.Cells(i + 5, 14) = 0
    End If

```

Else

```

    If Hoja3.Cells(i + 2, 4) >
    Hoja3.Cells(30, 4) Then

```

```

        Hoja6.Cells(8, 9) =
        Hoja6.Cells(8, 9) - Hoja6.Cells(7, 6)
    End If

```

```

        If (Hoja6.Cells(8, 9) < 0)
Then
    a = Hoja6.Cells(7, 6) +
Hoja6.Cells(8, 9)
    Hoja6.Cells(8, 9) = 0
Else
    a = Hoja6.Cells(7, 6)

End If

    Hoja6.Cells(i + 5, 14) =
Hoja3.Cells(i + 2, 4) * Hoja6.Cells(10,
5) * Hoja6.Cells(11, 6) * (a /
Hoja6.Cells(7, 6)) / 1000000
    Hoja6.Cells(i + 5, 15) =
Hoja6.Cells(8, 9)
    Hoja6.Cells(2, 6) =
Hoja6.Cells(2, 6) + a / 100

Else
    Hoja6.Cells(i + 5, 15) =
Hoja6.Cells(8, 9)
    Hoja6.Cells(i + 5, 14) = 0
End If

End If

Next i
    Hoja6.Cells(12, 5) = 100 -
(Hoja6.Cells(2, 5) / Hoja6.Cells(9, 5)) *
100
    Hoja6.Cells(12, 6) = 100 -
(Hoja6.Cells(2, 6) / Hoja6.Cells(9, 6)) *
100

    Hoja6.Cells(13, 9) = Hoja6.Cells(13,
9) + 1
    Hoja6.Cells(5 + Hoja6.Cells(13, 9),
19) = Hoja6.Cells(29, 12)
    Hoja6.Cells(5 + Hoja6.Cells(13, 9),
20) = Hoja6.Cells(29, 14)

```

End Sub

Sub ResetFP()

```

Dim i As Integer
Hoja6.Cells(7, 9) = 100
Hoja6.Cells(8, 9) = 100

```

For i = 0 To Hoja6.Cells(13, 9)

```

    Hoja6.Cells(5 + i, 19) = 0
    Hoja6.Cells(5 + i, 20) = 0

```

Next i

```

Hoja6.Cells(13, 9) = 0
Hoja6.Cells(12, 5) = 100
Hoja6.Cells(12, 6) = 100
Hoja6.Cells(2, 5) = 0
Hoja6.Cells(2, 6) = 0

```

End Sub

Sub CorrienteFP()

```

Dim CurrentA(1 To 250)
Dim CurrentDHA(1 To 250)
Dim CiclesA As Integer
Dim CiclesDHA As Integer
Dim SOCa As Integer
Dim SOCdha As Integer
Dim DiasP As Integer

```

```

DiasP = Hoja6.Cells(13, 9)
CiclesA = Hoja6.Cells(2, 5)
CiclesDHA = Hoja6.Cells(2, 6)
SOCa = Hoja6.Cells(7, 9)
SOCdha = Hoja6.Cells(8, 9)

```

Dim i As Integer

For i = 1 To 250

```

    Hoja6.Cells(11, 5) = i
    Hoja6.Cells(11, 6) = i

```

FirstPower

```
CurrentA(i) = Hoja6.Cells(29, 12)
- (Hoja6.Cells(2, 5) / Hoja6.Cells(9, 5))
* Hoja6.Cells(5, 5)
CurrentDHA(i) = Hoja6.Cells(29,
14) - (Hoja6.Cells(2, 6) / Hoja6.Cells(9,
6)) * Hoja6.Cells(5, 5)
Hoja6.Cells(2, 5) = CiclesA
Hoja6.Cells(2, 6) = CiclesDHA
Hoja6.Cells(7, 9) = SOCa
Hoja6.Cells(8, 9) = SOCdha
Hoja6.Cells(13, 9) = DiasP
```

Next i

Dim n As Integer

Dim m As Integer

m = 1

n = 1

For i = 1 To 249

If CurrentDHA(i + 1) >

CurrentDHA(m) Then

m = i + 1

End If

If CurrentA(i + 1) > CurrentA(n)

Then

n = i + 1

End If

Next i

Hoja6.Cells(11, 6) = m

Hoja6.Cells(11, 5) = n

FirstPower

End Sub